

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA

COMPÓSITO DE AMIDO-LIGNINA COMO AGENTE
MODIFICADOR EM PROCESSO DE LIBERAÇÃO DE
FÓSFORO E POTÁSSIO EM FERTILIZANTE
ORGANOMINERAL DE CAMA DE AVIÁRIO

Autor: Alex Junior Barbosa de Farias
Orientador: Dr. Carlos Frederico de Souza Castro
Coorientadores: Dr^a. Marilene Oliveira Silva
Dr. Dener Marcio Oliveira

Rio Verde – Goiás
fevereiro – 2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA

COMPÓSITO DE AMIDO-LIGNINA COMO AGENTE
MODIFICADOR EM PROCESSO DE LIBERAÇÃO DE
FÓSFORO E POTÁSSIO EM FERTILIZANTE
ORGANOMINERAL DE CAMA DE AVIÁRIO

Autor: Alex Junior Barbosa de Farias
Orientador: Dr. Carlos Frederico de Souza Castro
Coorientadores: Dr^a. Marilene Oliveira Silva
Dr. Dener Marcio Oliveira

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM AGROQUÍMICA, no Programa de Pós-Graduação em Agroquímica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Agroquímica Ambiental.

Rio Verde – Goiás
fevereiro – 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

F224c Farias, Aléz
Compósito de amido-lignina como agente modificador em processo de liberação de fósforo e potássio em fertilizante organomineral de cama de aviário / Aléz Farias; orientador Carlos Castro; co-orientador Dener Oliveira. -- Rio Verde, 2023.
52 p.

Dissertação (Mestrado em Agroquímica) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Fertilização. 2. Lignina. 3. Disponibilidade controlada. I. Castro, Carlos, orient. II. Oliveira, Dener, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Alex Junior Barbosa de Farias

Matrícula:

20202033103I0024

Título do trabalho:

COMPÓSITO DE AMIDO-LIGNINA COMO AGENTE
MODIFICADOR EM PROCESSO DE LIBERAÇÃO DE

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 11 / 2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que 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;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano 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;
- Que 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 Goiano.

Rio Verde

Local

14 / 05 / 2023

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente

CARLOS FREDERICO DE SOUZA CASTRO

Data: 15/05/2023 14:38:59-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



Documento assinado digitalmente

ALEX JUNIOR BARBOSA DE FARIAS

Data: 23/05/2023 08:55:47-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 12/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

COMPÓSITO DE AMIDO-LIGNINA COMO AGENTE MODIFICADOR EM PROCESSO DE LIBERAÇÃO DE
POTÁSSIO EM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL DE CAMA DE AVIÁRIO

Autor: Alex Junior Barbosa de Farias
Orientador: Carlos Frederico de Souza Castro

TITULAÇÃO: Mestre em Agroquímica - Área de Concentração Agroquímica

APROVADA em 24 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. Hudson de Oliveira
Rabelo
Avaliador externo - Instituto
Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. Rodrigo Braghiroli
Avaliador externo - IF Goiano /
Campus Rio Verde

Prof. Dr. Carlos Frederico de Souza Castro
Presidente da Banca - IF Goiano / Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Rodrigo Braghiroli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/02/2023 17:59:11.
- Hudson de Oliveira Rabelo, Hudson de Oliveira Rabelo - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (1), em 24/02/2023 15:22:31.
- Carlos Frederico de Souza Castro, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/02/2023 15:15:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/02/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 467771

Código de Autenticação: 4ab25d9d71



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Começo dedicando meus agradecimentos à minha família, em especial minha mãe, meus avós e minha namorada pelo suporte que me foi dado sempre que necessário.

Ao meu orientador Carlos Frederico, pela orientação e paciência.

Ao professor Rodrigo, pelas inúmeras contribuições no trabalho.

Aos colegas de laboratório, pelas parcerias, trocas de informações científicas e outras não científicas.

E, a Deus, por me proporcionar saúde para vivenciar todo esse processo da minha vida.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ALEX JUNIOR BARBOSA DE FARIAS, filho de José Aparecido de Farias e Eliana Barbosa de Farias, nasceu em 22 de novembro de 1993, no município de Barbosa Ferraz – Paraná. Em dezembro de 2010, concluiu o ensino médio no Colégio Estadual Machado de Assis, em sua cidade natal. Em março de 2011 inicia no curso de Licenciatura em Química na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão, onde conclui o curso em março de 2017. Ainda no ano de 2017 concluiu a especialização em Metodologias no ensino de Química pelo Instituto Eficaz no município de Maringá. Em novembro de 2020, iniciou no Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO – área de concentração Química Ambiental, sob orientação do professor Dr. Carlos Frederico de Souza Castro.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Revisão Bibliográfica.....	3
1.1. 1. Cama de aviário como fertilizante.....	6
1.1.2. Fertilização.....	7
1.1.2.1. Fertilização mineral.....	8
1.1.2.2. Fertilização organomineral.....	10
1.1.3. Liberação Controlada ou gradual de nutrientes.....	11
1.1.3.1. Fertilizante revestido – Amido.....	13
1.1.3.2. Compósito de liberação controlada Amido-lignina.....	16
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Geral.....	16
2.2. Específicos.....	17
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	17
3.1. Reagentes e equipamentos.....	18
3.2. Obtenção e caracterização da cama de aviário.....	18
3.3. Obtenção da biomassa de eucalipto e extração da lignina.....	19
3.4. Obtenção de compósito amido-lignina.....	19
3.5. Granulação e revestimento dos grânulos de fertilizante organomineral de cama de aviário com compósito amido-lignina.....	19
3.6. Determinação da pureza da lignina.....	20
3.6.1. Teor de lignina.....	20
3.7. Ensaio de liberação de nutrientes.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Caracterização da cama de aviário.....	22
4.2. Obtenção e caracterização da lignina.....	23
4.3. Produção de fertilizante organomineral e granulação.....	26
4.4. Obtenção do compósito amido-lignina e revestimento dos grânulos.....	27
4.5. Ensaio de liberação de nutrientes.....	32
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Reagentes Utilizados.....	17
Tabela 2 - Equipamentos utilizados.....	18
Tabela 3 – Caracterização físico-química da cama de aviário.....	22
Tabela 4 - Bandas presentes no espectro FTIR de lignina organosolve e suas atribuições.....	25
Tabela 5 -Teor de pureza da lignina.....	26
Tabela 6 – Caracterização físico-química do fertilizante organomineral.....	27
Tabela 7 - Análise de Variância - Concentração de K em lixiviado.....	33
Tabela 8 - Concentração de K em lixiviado.....	34
Tabela 9 - Análise de Variância - Concentração de K no solo após 168h.....	34
Tabela 10 - Concentração de K no solo após 168h.....	35
Tabela 11 – Análise de Variância – Concentração de P em lixiviado.....	35
Tabela 12 – Concentração de P em lixiviado.....	
Tabela 13 – Análise de Variância – Concentração de P no solo após 168h....	
Tabela 14 – Concentração de P no solo após 168h.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Granja de aves de corte.....	3
Figura 2A: Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)].....	11
Figura 2B: Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)].....	12
Figura 3: Modelo estrutural da lignina.....	14
Figura 4: Lignina.....	23
Figura 5: Espectro obtido por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) da lignina extraída da maravalha de eucalipto.....	24
Figura 6: Fertilizante organomineral granulado.....	27
Figura 7: Filmes do compósito amido-lignina.....	28
Figura 8: Modelo interação amido-lignina.....	29
Figura 9 (a): MEV - filme de amido com lignina 1%.....	30
Figura 9 (b): MEV - filme de amido com lignina 5%.....	31
Figura 9 (c): MEV - filme de amido com lignina 10%.....	31
Figura 10: (a) organomineral sem revestimento; (b) organomineral com revestimento.....	33

RESUMO

FARIAS, ALEX JUNIOR BARBOSA DE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2023. **Compósito de amido-lignina como agente modificador em processo de liberação de fósforo e potássio em fertilizante organomineral de cama de aviário**

Orientador: Dr. Carlos Frederico de Souza Castro, Coorientadores: Dr^a. Marilene Oliveira Silva, Dr. Dener Marcio Oliveira

A agricultura brasileira é referência mundial em produção de alimentos. Um dos processos primordiais para manter uma produção de qualidade é a fertilização, processo que a cada dia vem ganhando novas tecnologias. Entretanto, as produções em grande escala geram grande volume de resíduos, que se não manejado de forma adequada pode gerar prejuízos ao meio ambiente. Nesse sentido, novas tecnologias sustentáveis como o tratamento e utilização de resíduos e materiais biodegradáveis são de grande relevância para a manutenção do equilíbrio ambiental do planeta. O trabalho aqui apresentado avaliou a utilização de um compósito de amido-lignina para revestimento de fertilizante organomineral de cama de aviário para controle de liberação de potássio (K). Foi utilizado maravalha de eucalipto para obtenção da lignina utilizada no processo de revestimento do fertilizante organomineral. Os revestimentos foram feitos com compósitos de 1%, 5% e 10% de lignina. Os ensaios de lixiviação foram realizados com prova em branco (amostra contendo apenas solo (T1)), padrão (amostra de solo com fertilizante sem revestimento (T2)), solo com fertilizante revestido a 1% de lignina (T3), solo com fertilizante revestido a 5% de lignina (T4) e solo com fertilizante revestido a 10% de lignina (T5). Os dados obtidos mostram que T3, T4 e T5 têm efeito superior em controle de liberação de P e K, entretanto a diferença desses tratamentos, a concentração de lignina apresentou leve diferença estatística, mas sem grandes influências. Logo, pode-se afirmar que compósitos à base de amido-lignina apresentam capacidade de prolongamento na liberação de P e K em fertilizante organomineral.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilização, lignina, disponibilidade controlada.

ABSTRACT

FARIAS, ALEX JUNIOR BARBOSA DE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, February 2023. **Starch-lignin composite as a modifying agent in the phosphorus and potassium release process in organomineral fertilizer from poultry litter**

Advisor: Dr. Carlos Frederico de Souza Castro, Co-advisors: Dr^a. Marilene Oliveira Silva, Dr. Dener Marcio Oliveira

Brazilian agriculture is a world reference in food production. One of the key processes to maintain quality production is fertilization, a process that is gaining new technologies every day. However, large-scale productions generate a large volume of waste, which, if not handled properly, can harm the environment, as well as even new technologies in fertilization can generate harmful waste. In this sense, new sustainable technologies such as the waste treatment and use and biodegradable materials are of great relevance for maintaining the planet's environmental balance. The work presented here evaluated the use of a starch-lignin composite for coating organomineral fertilizer from poultry litter to control potassium (K) release. Eucalyptus shavings were used to obtain the lignin used in the organomineral fertilizer coating process. The coatings were made with 1%, 5% and 10% lignin composites. The leaching tests were carried out with a blank test (sample containing only soil (T1)), standard (soil sample with uncoated fertilizer (T2)), soil with fertilizer coated with 1% lignin (T3), soil with fertilizer coated with 5% lignin (T4) and soil with fertilizer coated with 10% lignin (T5). The data obtained show that T3, T4 and T5 have a superior effect in controlling the P and K release, however, unlike these treatments, the lignin concentration showed a slight statistical difference, but without major influences. Therefore, it can be stated that starch-lignin-based composites can prolong P and K release in Organomineral fertilizer.

KEYWORDS: Fertilization, lignin, controlled availability.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos principais pilares para manter a sobrevivência da atual população mundial e carrega o desafio de otimizar seus processos de produção para conseguir atender a crescente demanda populacional. A utilização de fertilizantes foi e é primordial para o alcance desse grande desafio. Em contrapartida, a corrida pela produção agrícola em grande escala gera problemas ambientais com a poluição de solos, lagos, rios e reservatórios subterrâneos. Como exemplo, estudos realizados na Austrália, Europa e Estados Unidos mostram que o excesso de nitrogênio e fósforo vem causando processos de eutrofização de águas, o processo tem relação com grandes quantidades de nutrientes acrescidas ao solo recorrentes do manejo de produção intensivo (LANA, 2009; SHIGAKI, *et al.*, 2006).

Dentro desse cenário de produção vegetal e animal em grande escala, o Brasil destaca-se, sendo o agronegócio responsável por 21,4% do PIB total do país em 2019. Em 2020, mesmo com o cenário negativo pela pandemia ocasionada pelo vírus Covid-19, o PIB do agronegócio teve crescimento significativo de 8,48% de janeiro a agosto (CEPEA/ESALQ/USP, 2020). Com tais proporções é evidenciada a relevância da agricultura e pecuária na economia do país, assim, o desenvolvimento constante de novas tecnologias para o aprimoramento e otimização de sua produção é fundamental.

Levando em consideração a demanda por produção de alimentos e a expansão econômica do agronegócio brasileiro, os fertilizantes têm grande responsabilidade nesses processos, mas esse material em sua forma mais tradicional, os fertilizantes minerais, são extraídos e utilizados de forma intensiva, causando desequilíbrios ambientais, assim, novos processos de obtenção e utilização de fertilizantes são necessários para alcançar uma produção agrícola eficiente e sustentável (LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2009).

Os resíduos da agroindústria vêm se mostrando como boa opção no desenvolvimento de fertilizantes sustentáveis, a cama de frango é um desses resíduos que vem ganhando destaque, porém, comparando a utilização de fertilizantes minerais e organominerais em grandes culturas como soja e milho a vantagem dos minerais é discrepante (BENITES *et al.*, 2010). Ainda segundo

Benites *et al.* (2010), de todo o volume de fertilizante organomineral produzido no Brasil, apenas uma pequena parcela é destinada a grandes culturas, como soja, milho e trigo; em alguns casos, concentração de nutrientes inferior a concentração encontrada em fertilizantes minerais, características físicas do produto, que na maioria das situações é encontrado na forma de farelo ou pó são os responsáveis por não consolidar a utilização e comercialização dos organominerais, a produção de organomineral granulado ou peletizado pode favorecer a utilização do produto.

Em regiões em que a produção de aves e agricultura familiar coexistem com solidez, o processo de peletização da cama de frango para utilização como adubo vem se intensificando, contudo, o produto final apresenta grande deficiência em informação de concentração em nutrientes e eficácia na adubação de culturas, visto que com frequência não são realizadas análises prévias de nutrientes presentes no material e quando já aplicado em solo absorve água com muita facilidade, liberando os nutrientes em um curto período de tempo (BENITES *et al.*, 2010).

De forma geral, os polímeros vêm ganhando espaço no mercado de fertilizante de liberação controlada, ao formar uma película protetora em volta do fertilizante, controlando a passagem de água. Não deixando de lado o viés ambiental demandado na atualidade, os polímeros biodegradáveis, de fonte vegetal, podem se tornar grande aliado na prospecção do mercado de fertilizante eficiente e ambientalmente correto (BASTIOLI, 2005). Alguns polímeros como amido e lignina já possuem estudos indicando sua aplicação em fertilizantes (SCHLEMMER *et al.*, 2010; CORRADINI *et al.*, 2005).

O potássio (K) e fósforo (P), macronutrientes fundamentais para o desenvolvimento saudável de plantas apresentam algumas problemáticas em processos de fertilização. O K se perde com facilidade em processos de lixiviação, podendo causar inclusive, dependendo do manejo, salinização de solos. Já o fósforo apresenta a problema de indisponibilidade por fixação no solo (Benites *et al.*, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo propor processo para o desenvolvimento de fertilizantes organomineral baseado na cama de frango com baixo custo e alta eficiência a partir de mecanismos de controle de liberação dos macronutrientes Potássio (K) e Fósforo (P) proporcionado por

polímero biodegradável de amido-lignina (AL) que foram avaliados por ensaios em laboratório.

1.1 Revisão bibliográfica

1.1.1 Cama de aviário como fertilizante

A produção de aviário no ano de 2020 chegou a 55,334 milhões de matrizes de corte (cabeças), gerando o quantitativo de 13,845 bilhões de toneladas de carne; os levantamentos da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) indicam que a produção nacional no ano de 2021 deve aumentar a cerca de 3,5 % em relação a 2020 (ABPA, 2021). A produção de aves ocorre em local fechado, denominados de galpões, com piso recoberto com material ou mistura de materiais, formando a chamada cama de aviário ou mesmo cama de frango. O recobrimento do piso tem o intuito de evitar doenças das aves em confinamento (pelo contato com fezes e urina); absorver essas excreções; absorver umidade, que contribui na diminuição de oscilações na temperatura ambiente (PEDROZA *et al.*, 2021). A composição da cama de frango pode variar, no entanto, os materiais mais utilizados são palha de arroz e milho, feno de capins, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros.

Figura 1: Granja de aves de corte.



Fonte: GLOBO RURAL

A composição química do resíduo da cama de frango depois do ciclo de uso – cerca de seis ciclos com a mesma cama (DALÓLIO *et al.*, 2017) torna-se

parâmetro importante de conhecimento para que seja destinado ao fim correto. O esterco constitui fonte rica em fósforo, apresentado como resíduo que pode ser melhor utilizado para fins de fertilização; além do fósforo (P), o nitrogênio (N) e o potássio (K) são elementos que contribuem para a fertilização e estão presentes em grande proporção em resíduos de animais (HÄGGSTRÖM *et al.*, 2020). Pedroza *et al.* (2021), publicaram um estudo recente em que comparam a quantidade de N, P e K em três ciclos de uso; a concentração média desses elementos na composição da cama de frango após os três ciclos, foi de 2,92, 3,73 e 2,12% (m/m), respectivamente. Tal composição demonstra a possibilidade da utilização desse resíduo como fertilizante alternativo, como já vem sendo feito há alguns anos.

Os fertilizantes químicos são composições e/ou misturas de compostos aplicados em plantações com o intuito de aumentar o rendimento de produção. Contudo, o uso indiscriminado de produtos químicos tem causado uma série de problemas, como a diminuição da qualidade do solo, afetando a biodiversidade e contaminação das águas subterrâneas; podendo provocar também a resistência das plantas a fatores de estresse bióticos e abióticos (VASSILEV *et al.*, 2017). Kyakuwaire *et al.* (2019) publicaram um estudo em que relataram a seguridade da utilização de cama de frango como fertilizante em grandes plantações. Apesar da cama de frango se apresentar como fertilizante orgânico de baixo custo, os autores mostram que é necessário entender qual o impacto causado em aplicações gerais no meio ambiente, a fim de mitigar possíveis problemas que podem surgir relacionados à saúde humana e do meio ambiente (KYAKUWAIRE *et al.*, 2019). Para tanto, diversos estudos verificam a viabilidade da utilização da cama frango como fertilizante orgânico em diferentes culturas; assim como a interação com fertilizantes minerais.

Para comparar a influência de alguns fertilizantes orgânicos, incluindo cama de frango, com fertilizantes minerais, Souza *et al.* (2018) verificaram o rendimento em uma cultura de melão amarelo em resposta a esses fertilizantes. Os fertilizantes utilizados foram: fertilizante mineral, esterco bovino, esterco bovino associado com fertilizante mineral, cama de frango e cama de frango associado com fertilizante mineral. Os fertilizantes orgânicos foram aplicados em taxas equivalentes a $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ou $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e na aplicação do fertilizante mineral as quantidades de fósforo e potássio foram calculadas considerando uma

análise preliminar do solo; já para o nitrogênio, a aplicação baseou-se em rendimento esperado de 20 a 30 t ha⁻¹. Os resultados mostram que o fertilizante orgânico sozinho e/ou combinado com o fertilizante mineral não influenciou em nenhum aspecto estudado; e o esterco bovino associado com o fertilizante orgânico obteve valores baixos de recuperação de nitrogênio, sendo que o primeiro resultou em aumento das formas de nitrogênio no solo (SOUZA *et al.*, 2018).

O rendimento de produção de soja foi avaliado por Pokhrel *et al.* (2021), juntamente com o impacto de plantações de cobertura sem fertilização e sob fertilização de cama de frango e fertilizante inorgânico. No estudo, os autores avaliaram alguns aspectos de interesse como carbono total e nitrogênio, carbono oxidável de permanganato, proteína do solo relacionada à glomalina, agregado estável à água e pH do solo. Após as avaliações, os autores demonstram que o rendimento de soja com fertilização com cama de frango e fertilizante inorgânico aumentou em 68 e 42 % nas culturas plantadas mais cedo (outubro/2017) e tarde (maio/2018), respectivamente. Em relação às plantações de cobertura, não foi observado nenhuma influência, já que os benefícios agrônômicos dessa prática podem delongar anos para ser identificado (POKHREL *et al.*, 2021).

He *et al.* (2019) estudaram o efeito a longo prazo de propriedades químicas em plantações com aplicação de cama de frango em sistema convencional e plantio direto, e com coletas de solo realizadas em dois níveis diferentes (0-5 cm e 5-10 cm de profundidade). Dentre as características observadas, os autores relataram que o pH do solo aumentou significativamente com a aplicação da cama de frango em relação aos fertilizantes sintéticos, implicando em benefícios na maioria das culturas com pH ótimo do solo entre 6,0 e 6,5. Nos dois sistemas de plantio, o milho, principalmente com plantação de cobertura de trigo, contribuiu para o aumento de carbono total e enxofre na superfície (0-5 cm). Já com a aplicação da cama de frango foi observado grande aumento de magnésio, fósforo, cálcio, sódio, potássio, manganês, cobre e zinco nas duas camadas do solo. Com esses resultados, novas práticas de manejo e nutrição do solo podem ser adotadas (HE *et al.*, 2019).

Além das aplicações diretas da cama de frango em solo, alguns estudos modificam esse fertilizante antes da aplicação, sintetizando biochar (SIKDER; JOARDAR, 2019); (MASUD *et al.*, 2020), paletização (FENG *et al.*, 2019), entre

outros. A proposta de sintetizar biochar a partir da cama de frango tem como base a possibilidade de aumentar a quantidade de nutrientes disponíveis para absorção no solo e/ou nas plantas quando aplicado. Sikder e Joardar (2019) sintetizaram biochar a partir da cama de frango; a metodologia baseia-se na pirólise do material precursor em alta temperatura, neste estudo os autores pirolisaram a cama de frango a 300°C por 10 minutos e passaram por uma peneira granulométrica de 0,5 mm. Os resultados mostraram aumento na quantidade de nutrientes disponíveis; nitrogênio, fósforo e potássio aumentaram sua disponibilidade para absorção pelo solo e plantas de 0,4, 0,72 e 1,53 % para 0,56, 1,15 e 2,01%, respectivamente. A planta Gima kalmi (*Ipomoea aquatica*) foi utilizada como modelo para o teste, observando que teve aumento significativo do crescimento com a aplicação do biochar; assim como da massa fresca e massa seca. Em suma, os autores demonstram que o biochar da cama de frango pode ser um fertilizante orgânico promissor para aplicação em outras plantas e mesmo em grandes lavouras (SIKDER; JOARDAR, 2019).

Em outro estudo com modificação da cama de frango, Feng *et al.* (2019), avaliaram a consequência da peletização da cama de frango sobre diversas propriedades em lavoura reduzida em sistema de algodão contínuo. Propriedades físicas e hidráulicas foram avaliadas pelos autores em duas épocas diferentes: no outono de 2014 e na primavera de 2015 (estações referentes na América do Norte) após quatro aplicações dos pellets de cama de frango entre 2010 e 2013 (6,7 Mg ha⁻¹). As análises foram realizadas a 0-15 cm de profundidade. Na primeira análise, a aplicação anual dos pellets de cama de frango aumentou a estabilidade do agregado do solo, água disponível para a planta, capacidade de campo, condutividade e infiltração em 10, 52, 26, 80 e 54%, respectivamente. Na segunda análise, as mesmas propriedades foram avaliadas e foi notado o aumento de 16, 28, 18, 90 e 100%, respectivamente (FENG *et al.*, 2019). Pelos dados de condutividade é possível observar aumentos em até 90% na segunda avaliação; isso relacionado com o aumento de íons presentes no solo, provenientes dos pellets da cama de frango. Contudo, os autores ainda citam que a fertilização inorgânica pode causar selamento na superfície do solo e formação de incrustações, diminuindo infiltração de água (FENG *et al.*, 2019).

1.1.2 Fertilização

Nas projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), a população humana deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (UNITED NATIONS, 2019). Considerando essa estimativa, a produção de alimentos deve acompanhar o crescimento para suprir a futura demanda. O setor agrícola será o de maior influência em relação a produção e entrega de alimentos, e o aumento deve acontecer por intensificação, ou seja, aumento no rendimento das safras, ao invés de expansão da área plantada (KOPITTKÉ *et al.*, 2019).

O rendimento das colheitas agrícolas é influenciado por diversos fatores, dentre eles: clima, tipo de solo, controle de pragas e ervas daninhas, uso de fertilizantes, entre outros (NKURUNZIZA *et al.*, 2020). A dependência que cada fator tem sobre o rendimento das safras, e, é importante compreender; sendo o uso de fertilizantes, como de defensivos agrícolas, os aspectos majoritários visto que sua aplicação no solo pode provocar uma série de problemas ambientais. Conseqüentemente, o desenvolvimento de novos tipos de fertilizantes pode auxiliar na intensificação da produção agrícola, e diminuir os impactos ambientais a serem causados (KOPITTKÉ *et al.*, 2019). Em relação a isso, diversos estudos vêm apresentando possíveis alternativas de tipos de fertilização que podem ser adotados em grandes plantações. Com abordagem sobre fertilização mineral, organomineral, assim como a utilização de métodos de liberação controlada, que diminuem as perdas e desperdício de fertilizantes, e, conseqüentemente, os custos com a produção agrícola.

1.1.2.1 Fertilização mineral

Os fertilizantes minerais são aplicados no solo para suprir e/ou complementar a concentração de elementos presentes nas funções biológicas responsáveis pelo crescimento da planta, para, dessa maneira, atingir os níveis de rendimento pretendido (SINGH, 2018). Contudo, Singh (2018) alerta sobre a potencial perturbação que os fertilizantes químicos podem causar no solo, no seu funcionamento natural e afetando também o rendimento de outras atividades ecossistêmicas.

Apesar do alto impacto que a fertilização pode causar no solo, em um estudo Li *et al.* (2017) são apresentados resultados de uma pesquisa estatística a partir de dados de um solo tratado por 24 anos com fertilizantes inorgânicos e inorgânicos-orgânicos (esterco e palha). Os resultados mostraram que a fertilização combinada (inorgânica-orgânica) aumentou a concentração de carbono orgânico no solo, a concentração de nitrogênio, alterando também a composição bacteriana. Já em relação à fertilização inorgânica, houve baixo impacto na concentração de nutrientes no solo e na composição bacteriana (LI *et al.*, 2017). Além disso, os dados apresentados demonstram que o rendimento de milho e trigo são mais altos sob fertilização combinada comparada com a fertilização inorgânica. A fertilização combinada aumentou os potenciais de atividades de três exoenzimas microbianas envolvidas na mineralização de carbono, nitrogênio e fósforo: invertase, urease e fosfatase alcalina (LI *et al.*, 2017).

Em um estudo semelhante, Huang *et al.* (2019) apresentaram resultados sobre o aumento da diversidade bacteriana e sua composição, e as funções potenciais em solo de arroz sob fertilização inorgânica. O tratamento do solo foi realizado de cinco formas, um controle e outros quatro tratamentos com nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes concentrações. Como resultado principal, o estudo mostrou que a longo prazo a fertilização inorgânica implica no aumento da biodiversidade bacteriana, alterando a sua composição e, conseqüentemente, as funções envolvidas no ciclo do carbono, nitrogênio e enxofre. Além disso, os autores observaram que dentre os efeitos que a fertilização inorgânica pode causar nas propriedades químicas do solo estão: aumento do pH e da concentração da maioria dos nutrientes presentes no solo, como carbono total dissolvido, NH_4^+ , $-\text{N}$, carbono total, nitrogênio total e fósforo disponível (HUANG *et al.*, 2019).

Para tanto, o desafio, daqui para frente, baseia-se em maneiras de gerenciar a fertilização e o solo para que não somente as demandas alimentares sejam supridas e atendidas, mas de modo que o solo continue saudável para continuar produzindo, gerando o menor impacto ambiental possível (SINGH, 2018). Nesse sentido, outra forma de fertilização vem sendo bastante utilizada nas culturas agrícolas: a fertilização organomineral.

1.1.2.2 Fertilização organomineral

A fertilização organomineral baseia-se no uso de resíduos orgânicos agroindustriais como alternativa para a substituição e/ou suplementação da fertilização mineral (inorgânica) (CRUSCIOL *et al.*, 2020). A produção de fertilizantes organominerais acontece pela combinação de matéria orgânica rica em substâncias húmicas com amônia, ácido fosfórico ou mesmo com sais disponíveis que contenham fósforo e potássio em sua composição; e a aplicação depende principalmente do clima e da qualidade do solo, que favorece a transformação dos compostos orgânicos em suas formas minerais (CHOJNACKA *et al.*, 2019). Diversos resíduos podem ser incorporados na produção desses fertilizantes, como biomassa de cana-de-açúcar, resíduo urbano, cama de frango, esterco suíno e bovino, entre outros.

Estudos recentes mostram os efeitos da fertilização organomineral sobre o rendimento de diferentes culturas agrícolas, como de cana-de-açúcar. Borges *et al.* (2019) avaliaram o rendimento em cultura de cana-de-açúcar e a viabilidade de fósforo no solo, após fertilização com subprodutos de cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em dois tipos de solo, variando a distribuição de tamanho de partícula com solo argiloso e argilo-arenoso; os dois com baixa concentração de fósforo disponível. Os resultados mostraram aumento de aproximadamente 30% em matéria seca de cana após adição de bolo de filtro (material obtido da purificação do caldo de cana em filtro de pressão) no solo argiloso. Em suma, os autores concluem que, de maneira ambientalmente sustentável, a produção de fertilizante de fósforo organomineral, a partir da reciclagem de bolo de filtro se faz como alternativa para diminuir o uso de fertilizantes químicos, e, conseqüentemente, diminuindo os custos de produção (BORGES *et al.*, 2019).

Crusciol *et al.* (2020) também avaliaram como a fertilização organomineral pode afetar a produção de cana-de-açúcar, como fonte de fósforo e potássio, em comparação com a fertilização mineral. A composição do fertilizante organomineral foi preparada com monoamônio fosfato, cloreto de potássio e uma matriz orgânica granulada, e aplicada em cinco diferentes taxas: 0, 400, 800,

1000 e 1200 kg ha⁻¹. Os autores observaram que o fósforo contido no solo aumentou linearmente com a fertilização organomineral. Além disso, a fertilização organomineral, comparada com a mineral, foi mais eficiente 96 e 113% no rendimento de colmo e açúcar, respectivamente (CRUSCIOL *et al.*, 2020). No estudo citado, a utilização de fertilização organomineral mostrou-se em média 12% mais eficiente.

Em outro estudo utilizando como fonte de fertilização organomineral bolo de filtro de cana-de-açúcar e lodo de esgoto tratado, Mota *et al.* (2019) avaliaram as respostas de uma cultura de soja durante seu desenvolvimento. As aplicações das duas fontes de fertilização foram realizadas em quatro doses, sendo 50, 75, 100 e 125% da recomendável em culturas de soja. Os autores não observaram nenhuma diferença entre as duas fontes de fertilização nos resultados de clorofila. Em 60 dias após a semeadura, as plantas eram mais altas em todos os tratamentos com bolo de filtro de cana-de-açúcar em comparação com a fertilização mineral. De maneira geral, a fertilização organomineral em doses acima de 50% da recomendável aumentou o diâmetro e a altura da planta (MOTA *et al.*, 2019).

Além da aplicação convencional de doses de fertilizantes, seja mineral ou organomineral, diversos estudos são desenvolvidos a partir de técnicas de fertilização de maneira controlada. Essa forma de fertilização surge para diminuir os custos de produção, visto que uma significativa quantidade de fertilizante com água é perdida por volatilização e lixiviação (RAMLI, 2019).

1.1.3 Liberação controlada ou gradual de nutrientes

Na fertilização com liberação controlada, os nutrientes são liberados ao longo do tempo e de forma gradual podendo ser produzidos com o intuito de coincidir a liberação gradual com a demanda de nutrientes pela planta durante seu crescimento; assim, tal técnica de fertilização promete grande potencial ao que se refere em eficiência e rendimento (VEJAN *et al.*, 2021). Diferentes fertilizantes com liberação controlada são comercializados desde as últimas décadas; existem três tipos: formulações do tipo matriz, fertilizantes revestidos e produtos de liberação quimicamente controlada (RAMLI, 2019). Dentre as

vantagens da utilização de fertilizantes com liberação controlada, tem: a eficiente capacidade de carga de nutrientes, eficiente uso de nutrientes, qualidade de produção e produtividade, viabilidade econômica, compatibilidade ambiental, entre outras (VEJAN *et al.*, 2021).

As vantagens apresentadas podem variar de acordo com o material utilizado como precursor para produção do fertilizante com liberação controlada; a técnica utilizada em sua produção, que pode ser classificada em duas. Na primeira trata-se do fertilizante em material de revestimento, sendo comumente utilizado um polímero orgânico (termoplástico, resina), ou inorgânico (argila). Na segunda, o fertilizante está envolvido em uma matriz que pode ser hidrofóbica (borracha) ou hidrofílica (hidrogel). Os polímeros, como materiais de revestimento, ainda podem ser classificados como sintéticos (polietileno, poliuretano) e naturais (amido, quitosana, celulose) (LAWRENCIA *et al.*, 2021).

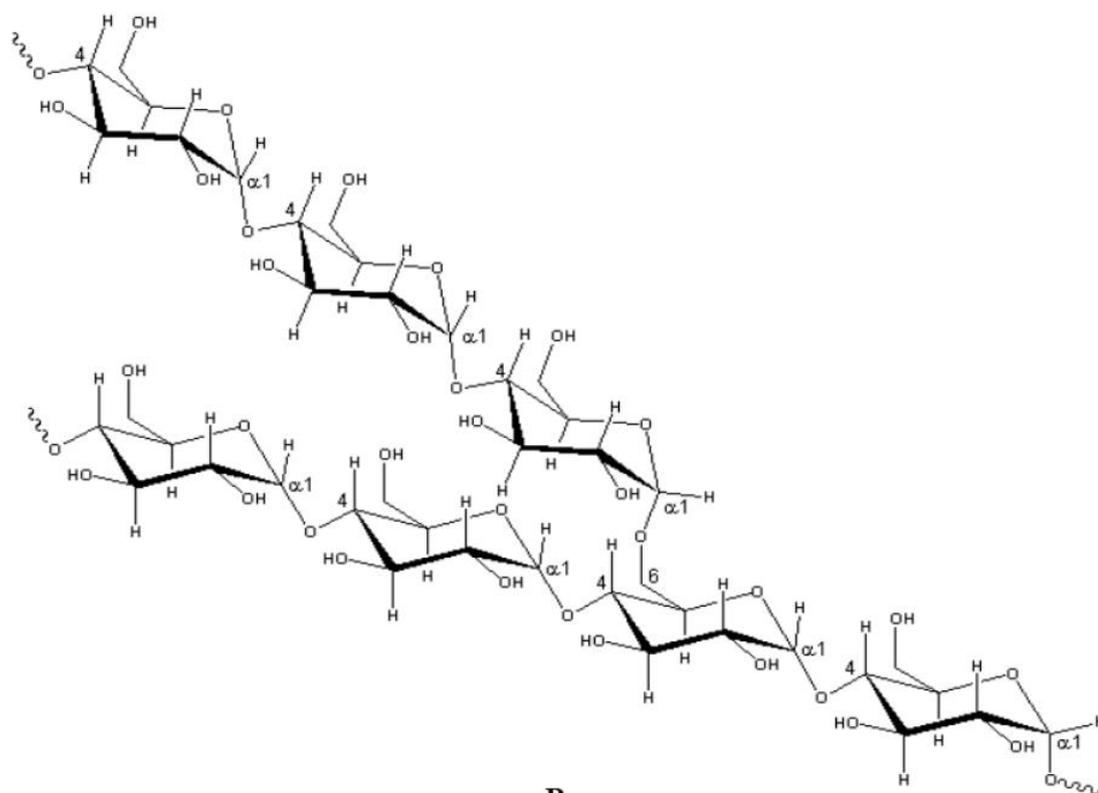
1.1.3.1 Fertilizante revestido - Amido

O amido é um carboidrato armazenado em plantas, sendo o mais abundante, natural, renovável e biocompatível biopolímero encontrado majoritariamente nos caules, raízes e sementes (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021). Os grupos hidroxilas na estrutura do amido fazem com que o polímero tenha alta afinidade por água, caracterizando-a como hidrossolúvel; a mistura final pode ser denominada de gelatina (SUPARE; MAHANWAR, 2021).

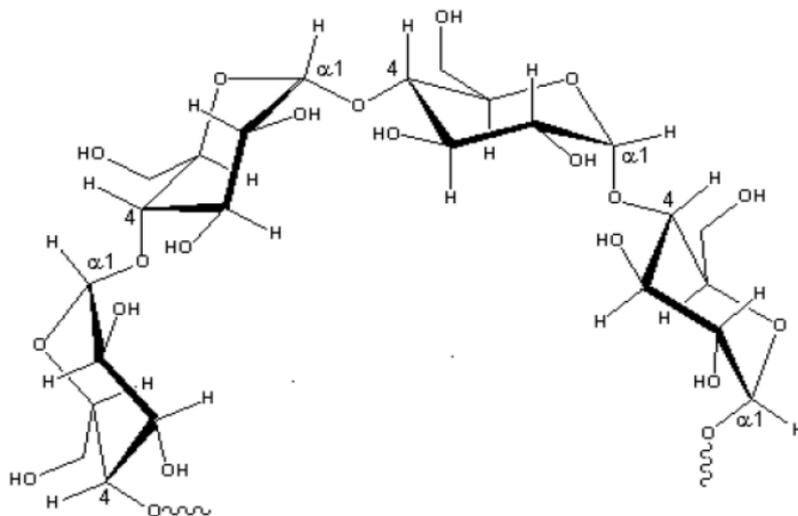
As características físicas e químicas favorecem a utilização do amido em diversas áreas, principalmente na agricultura. Recentemente, muitos estudos estão sendo desenvolvidos a partir da utilização do amido como polímero puro ou em forma de compósito para liberação controlada de fertilizantes e defensivos agrícolas. A exemplo de compósito, os filmes biodegradáveis vêm sendo muito utilizados por suas características de fácil produção e baixo impacto ambiental. A taxa de biodegradação depende da área superficial, atividade microbiana do meio, pH, temperatura, umidade, e a presença ou não de outros nutrientes (VERSINO; URRIZA; GARCÍA, 2019).

Figura 2A: Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)].

Fonte: LAJOLO & MENEZES (2006).



B



A

Figura 2B: Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)].

Fonte: LAJOLO & MENEZES (2006).

Com o intuito de utilizar o amido de mandioca como agente de liberação controlada de fertilizante, Versino *et al.* (2019) prepararam filmes com diferentes concentrações de glicerol e/ou ureia. O estudo de degradação e liberação do fertilizante foi realizado gravimetricamente em um solo fértil comercial como substrato, por períodos de 15, 30 e 45 dias. Os autores observaram que, pela taxa de degradação e liberação (perda de massa de 57 % e liberação de 95 % do composto fertilizante nos primeiros 15 dias), o filme produzido mostra-se como potencial alternativo para dosagem de nitrogênio no solo (VERSINO; URRIZA; GARCÍA, 2019).

Em outro estudo publicado pelos mesmos autores, um sistema de liberação controlada de fertilizante foi desenvolvido a partir de um biocompósito; os filmes produzidos foram incorporados com ureia. Foi observado que em relação à dosagem de macronutrientes, os filmes com 25% em massa de ureia apresentaram melhor desempenho. Dessa forma, um sistema alternativo para dosagem de ureia foi implementado com plantas em crescimento em casa de vegetação, com o intuito de ser mais ecologicamente correto e de fácil implementação (VERSINO; URRIZA; GARCÍA, 2020).

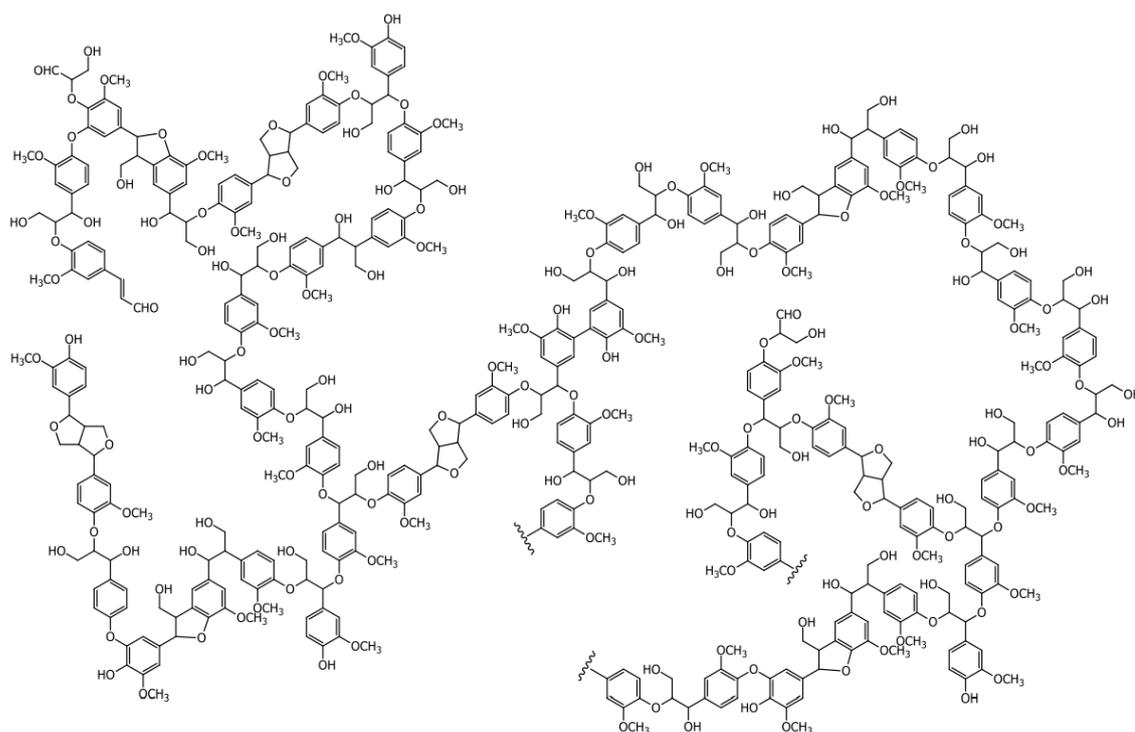
Notavelmente, a funcionalidade do amido como base para filmes e compósitos de liberação controlada de fertilizantes faz com que seu emprego seja amplo. No entanto, a hidrofilicidade do amido reduz bastante a estabilidade física e força mecânica, diminuindo as aplicações que os filmes à base de amido podem ter (WANG *et al.*, 2021). Para tanto, diversos estudos analisam diferentes compostos que podem ser utilizados junto ao amido, dentre os quais se destacam os compósitos de amido-álcool polivinílico (ZAFAR *et al.*, 2021), amido-quitosana (PIMSEN *et al.*, 2021), amido-lignina (MAJEED *et al.*, 2017), entre outros.

1.1.3.2 Compósito de liberação controlada ou gradual: amido-lignina (AL)

A produção de compósito de liberação controlada de fertilizantes com lignina pode ser realizada com modificação química (amoxidação, reação de Mannich etc.), por revestimento (com ou sem modificação química) e por

modificação por quelação (CHEN *et al.*, 2020). A lignina pode promover muitas características em filmes de amido, a depender de sua estrutura, processo de extração e origem vegetal; no geral, estruturas de lignina com alta quantidade de grupos hidroxila e alto peso molecular são associadas a um compósito com densidade e rigidez (WANG *et al.*, 2021). Filmes e compósitos com tais características apresentam-se como bons materiais para emprego na liberação controlada de fertilizantes.

Sarwono *et al.* (2018) investigaram o mecanismo de intumescimento de filmes de amido-lignina incorporados com ureia. Foi avaliado o efeito da concentração de lignina (0, 5, 10, 15 e 20 %), em três diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C) nos testes de intumescimento. Os autores observaram que com o aumento da concentração de lignina diminui o equilíbrio com a água,



justamente por sua natureza hidrofóbica; tal propriedade também diminui o nível de intumescimento e o coeficiente de difusão (SARWONO *et al.*, 2018).

Figura 3: Modelo estrutural da lignina

Fonte: CHÁVEZ-SIFONTES e DOMINE, 2013.

Aqlil *et al.* (2017) avaliaram a influência do óxido de grafeno como potencial agente reforçador de uma matriz biopolimérica composta por amido e lignina. A estrutura, morfologia e propriedades mecânicas foram estudadas, e a

estabilidade térmica. As propriedades de tensão (força de tensão) dos biofilmes aumentaram podendo estar relacionado com a forte interação entre os grupos funcionais do amido e lignina na presença de glicerol, que age como agente compatibilizante (AQLIL *et al.*, 2017). Com isso, o resultado da formação da blenda polimérica de lignina com a matriz de amido lança perspectivas para com o seu uso como filmes biodegradáveis com principal aplicação alimentícia. Contudo, também implica na possibilidade de estudos com lignina e amido para produção de filmes e/ou compósitos para liberação controlada de fertilizantes. De fato, a lignina se tornou uma alternativa para esse fim, atuando no revestimento de fertilizantes.

No estudo de Fertahi *et al.* (2019), a lignina foi utilizada como agente de revestimento do fertilizante superfosfato triplo na produção de um compósito com propriedades de liberação controlada e retenção de água. A lignina foi extraída de resíduo de azeitona; o compósito foi produzido com a adição de carragenina (polissacarídeo sulfatado) e polietileno glicol em diferentes proporções. O recobrimento dos grânulos do fertilizante pelo filme foi observado pelo aspecto visual, em comparação com os grânulos não recobertos. Em testes de liberação, os grânulos de fertilizante liberaram 72 e 84% de fósforo em 6 e 24 horas, respectivamente; chegando em 100% de fósforo liberado com 72 horas. Já nos grânulos revestidos pelo filme a liberação foi notoriamente mais lenta; a concentração de fósforo diminuiu entre 13,5-44,8%, 52-61% e 65-78% com 6, 24 e 72 horas, respectivamente. Em suma, os autores concluem que o compósito com alta capacidade de intumescimento e com propriedade de liberação controlada pode ser efetivo na agricultura (FERTAHÍ *et al.*, 2019). Os estudos citados trazem a perspectiva da utilização da lignina junto ao amido em formulações de filmes e compósitos para serem utilizados como agentes de liberação controlada de fertilizantes organominerais à base de cama de frango aumentando a eficiência agrônômica e conseqüentemente a competitividade de mercado.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Verificar o potencial do uso de lignina como agente moderador em processo de liberação de potássio em fertilizante organomineral de cama de aviário.

2.2. Específicos

- ✓ Determinar proporções de equilíbrio de amido-lignina para obtenção de compósito com potencial de recobrimento de grânulos de fertilizante organomineral;
- ✓ Realizar ensaios de lixiviação;
- ✓ Avaliar estatisticamente a influência do revestimento de grânulos de fertilizante organomineral com compósito amido-lignina (AL) na liberação de Potássio (K) e Fósforo (P).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Reagentes e equipamentos

Os experimentos foram desenvolvidos nos laboratórios: Química Tecnológica (QUITEC), Centro Multiusuário de Análises (CeMA) e Fitoquímica e Fertilizantes Organominerais do programa de Pós-Graduação em Agroquímica do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Os reagentes e equipamentos utilizados estão listados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Reagentes Utilizados

Reagente	Fabricante
Ácido clorídrico 37% (HCl)	NEON®
Ácido sulfúrico 97% (H ₂ SO ₄)	NEON®
Água deionizada	
Álcool etílico 95%	NEON®
Amido de araruta	
Cama de aviário	
Fertilizante mineral (Super triplo® 41%P;11%Ca)	
Glicerol	
Hexano PA	NEON®
Hidróxido de sódio (NaOH)	NEON®
Lignina	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Equipamentos utilizados.

Equipamento	Fabricante
Agitador magnético com aquecimento	KASVI®
Banho termostático	SOLAB®
Bomba de vácuo	TECNAL®
FT-IR	PARKIN®
Granulador	
Manta de aquecimento	EVEN®
Moinho de facas	TECNAL®
Pistola de alta pressão	
Rota evaporador	FISATON®
Secador de cabelo	BRITÂNIA®
Triturador agroindustrial	

Fonte: Autoria própria.

3.2 Obtenção e caracterização da cama de aviário

A cama de frango foi adquirida em granjas na área rural do município de Rio Verde – GO.

Secou-se o material para retirada de umidade em estufa na temperatura entre 60 e 65°C. Ao final da secagem utilizou-se moinho de bolas, com capacidade de moagem de 1000 g para obtenção de cama de frango homogênea. Com o material previamente preparado partiu-se para a caracterização química com determinação de macro nutrientes (N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S (SO₄)), micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B), carbono orgânico, relação C/N, pH e umidade. Os procedimentos ocorreram conforme as orientações da MAPA.

3.3 Obtenção da biomassa de eucalipto e extração de lignina

A biomassa de eucalipto utilizada para extração de lignina foi cedida pela empresa Maravalha Rio Verde, situada no município de Rio Verde – GO, Via

Secundária 2, Qd. 02 Módulo 12, 13, 14 SN, GO, 75913-554 Setor Agroindustrial I, GO, 75913-554.

O material cedido pela empresa encontra-se na forma de maravalha, obtida de eucalipto. A maravalha foi seca em estufa a 60°C por 42 h. Após, o material foi triturado em triturador industrial, o particulado obtido foi moído em moinho de facas tipo ciclone para obtenção de um pó fino homogêneo.

O método de extração utilizado foi adaptado de Alves (2016), a solução extratora é composta por NaOH 4,5% e etanol 95% na proporção de 2:8 (v:v). O sistema de extração contendo a biomassa e a solução extratora na proporção de 1:10 (m:v) é mantida em refluxo por 2h. Após a fervura branda o material é filtrado e lavado com solução extratora a 80°C, o licor negro resultante é então rota evaporado para recuperação do etanol e em seguida é lavado com água destilada a 80°C na proporção de 1:4. Por fim adiciona-se HCl concentrado ao licor negro até pH 2 para precipitação da lignina, após 24h de repouso o material é filtrado e seco.

3.4 Obtenção do compósito de amido-lignina

A metodologia utilizada para a produção dos filmes biodegradáveis foi adaptada de Aqlil *et al.* (2017), inicialmente 0,5 g de lignina foi adicionada em erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada, o sistema permaneceu sob agitação intensa por 12 h à temperatura ambiente, seguido por 1 h em banho ultrassônico. Separadamente, 2,5 g de amido de araruta, 0,75 g de glicerol, foram adicionados em erlenmeyer com 46,25 mL de água destilada a 90°C, o sistema permaneceu sob agitação intensa durante 90 minutos. Sob agitação a solução de amido foi resfriada até a temperatura ambiente seguida de 15 minutos em banho ultrassônico. As duas soluções foram vertidas em erlenmeyer e o sistema foi colocado sobre agitação a 75°C por 2 h e transferidos para formas de poliuretano e colocados em estufa a 30°C.

3.5 Granulação e revestimento dos grânulos de organomineral de cama de aviário com compósito amido-lignina

O fertilizante organomineral foi obtido a partir da mistura de cama de frango com fertilizante mineral super triplo (NPK) na proporção 60% e 40% respectivamente. O material foi então granulado em granuladora desenvolvida no laboratório de Fitoquímica e fertilizantes organominerais do IFGoiano – Campus Rio Verde. Após granulado o material fica em estufa a 45°C por 96 horas para remoção da umidade residual do processo de granulação.

Os grânulos já secos foram colocados em granuladora e com auxílio de uma pistola de alta pressão o compósito de amido-lignina foi aspergido sobre os grânulos em jatos contínuos de 10 segundos seguido de um jato de ar quente por 1 minuto. O processo foi repetido por dez ciclos. Os grânulos revestidos foram deixados em estufa a 45°C por 72 horas para remoção de umidade residual do processo de revestimento.

A granulometria do fertilizante foi avaliada segundo a IN nº 28 (de 27 de julho de 2007) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). As peneiras utilizadas foram de malha 1.80 e malha 4. Uma amostra de fertilizante foi homogeneizada e reduzida por quarteação manual conforme recomendação da NBR5776/80. A amostra foi pesada e transferida para as peneiras e agitado manualmente por 5 minutos. Por fim, o material retido foi pesado e determinado o percentual de passante.

3.6 Determinação de pureza da lignina

Para a determinação de pureza da lignina foi adaptado a metodologia descrita por Lin *et al* (2010).

3.6.1 Teor de Lignina

Pesou-se 1 g da lignina de eucalipto livre de extraíveis e adicionou-se em béquer contendo 30 mL de solução aquosa de ácido sulfúrico 72%. Deixou-se a

mistura em repouso por 24 horas. Após, diluiu-se em 300 mL de água destilada e aqueceu-se até ebulição por 1 hora. Filtrou-se e lavou-se com água destilada. O material retido no filtro foi pesado a 40°C por 24 horas e pesado. A massa corresponde ao teor de lignina, sendo expresso em porcentagem.

3.7 Ensaio de liberação de nutrientes e análises estatísticas

Para a determinação dos ensaios de liberação foi adaptada a metodologia descrita por Oliveira *et al.* (2012).

A liberação de nutrientes foi realizada em sistema com amostras do fertilizante em solo arenoso, sendo simulado chuva/lixiviação por irrigação. O sistema permitiu a coleta da água que perpassa o solo contendo o fertilizante. A água foi coletada no tempo de 0, 48 e 96 horas e determinadas as concentrações de N, P, K.

O sistema foi composto por tubulações de PVC de 30 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro preenchido com 2kg de solo, cinco gramas (5 g) de fertilizante foram adicionados com 2 cm de profundidade. As irrigações foram feitas com 200 mL de água destilada. A água coletada, lixiviada através do sistema foi coletada e determinada a concentração de K.

Tratamentos:

- Prova em branco (somente o solo) (T₁);
- Amostra referência (solo com fertilizante organomineral sem revestimento) (T₂);
- Fertilizantes revestidos com blenda amido-lignina 4%-1% respectivamente (T₃).
- Fertilizantes revestidos com blenda amido-lignina 4%-5% respectivamente (T₄).
- Fertilizantes revestidos com blenda amido-lignina 4%-10% respectivamente (T₅).

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso (DIC) em arranjo fatorial, que consistiu em cinco tratamentos (T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅) e 3 horários de análise (0, 48 e 96h). Os dados coletados foram

submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para tanto, foi utilizado o programa GENES em integração com o R (CRUZ, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-química da cama de aviário

As concentrações de macro e micronutrientes obtidas pela cama de aviário utilizada para a produção do fertilizante organomineral de liberação de nutrientes gradual pode ser vista na tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização físico-química da cama de aviário.

Componentes	Concentração (g kg ⁻¹)	Concentração (mg kg ⁻¹)	%	CaCl ₂	(mmolc kg ⁻¹)
N	27,7		2,77		
P₂O₅	27,5		2,75		
K₂O	39,8		3,98		
Ca	69,5		6,95		
Mg	9,3		0,93		
S (SO₄)	9,2		0,92		
Fe		12734,6			
Mn		557,8			
Cu		598,0			
Zn		338,3			
B		14,2			
CTC					553
C.O.	371,9		37,19		
C/N	13,4		1,34		
pH				7,1	
Umidade			3,18		

Fonte: Autoria própria.

O MAPA, pela instrução normativa SDA n° 25, de 23 de julho de 2009, estabelece alguns parâmetros mínimos para determinados materiais serem classificados como fertilizante orgânico, entre as determinações tem-se a estipulação de um mínimo de 1% de nitrogênio (N), mínimo de 20% de carbono orgânico e uma umidade máxima de 40%. Os resultados obtidos pela

caracterização da cama de aviário utilizada para a produção do fertilizante organomineral estão concordantes com a legislação vigente (tabela 3). Corroborando os resultados obtidos, Orrico Júnior (2010) e Bueno (2008) expõem diferentes estimativas de Nitrogênio, Fósforo e Potássio para cama de aviário, teores de N variam entre 2 e 3%, P entre 1 e 2 % e K entre 2 e 3%.

4.2 Obtenção e caracterização da Lignina

A obtenção da lignina é amplamente conhecida como um subproduto do processo de obtenção da celulose, sendo a polpação kraft o processo químico que prevalece na indústria de celulose (IBÁ, 2016;2017). Atualmente a lignina vem ganhando espaço significativo em aplicações industriais, mas esses vão depender da matéria-prima utilizada, método de extração utilizado e de sua estrutura (WANG et al., 2021). Buscando minimizar alterações estruturais da lignina pelo método de extração, este trabalho utilizou a metodologia descrita no item 3.3. O método obteve resultado satisfatório como demonstrado na tabela 5 em que a lignina apresenta em média 81,4% de pureza. Vallejos *et al.* (2011) afirmam que uma das principais características da lignina organosolve é o elevado grau de pureza e baixa solubilidade em água. A figura 4 mostra a lignina obtida pelo método descrito.

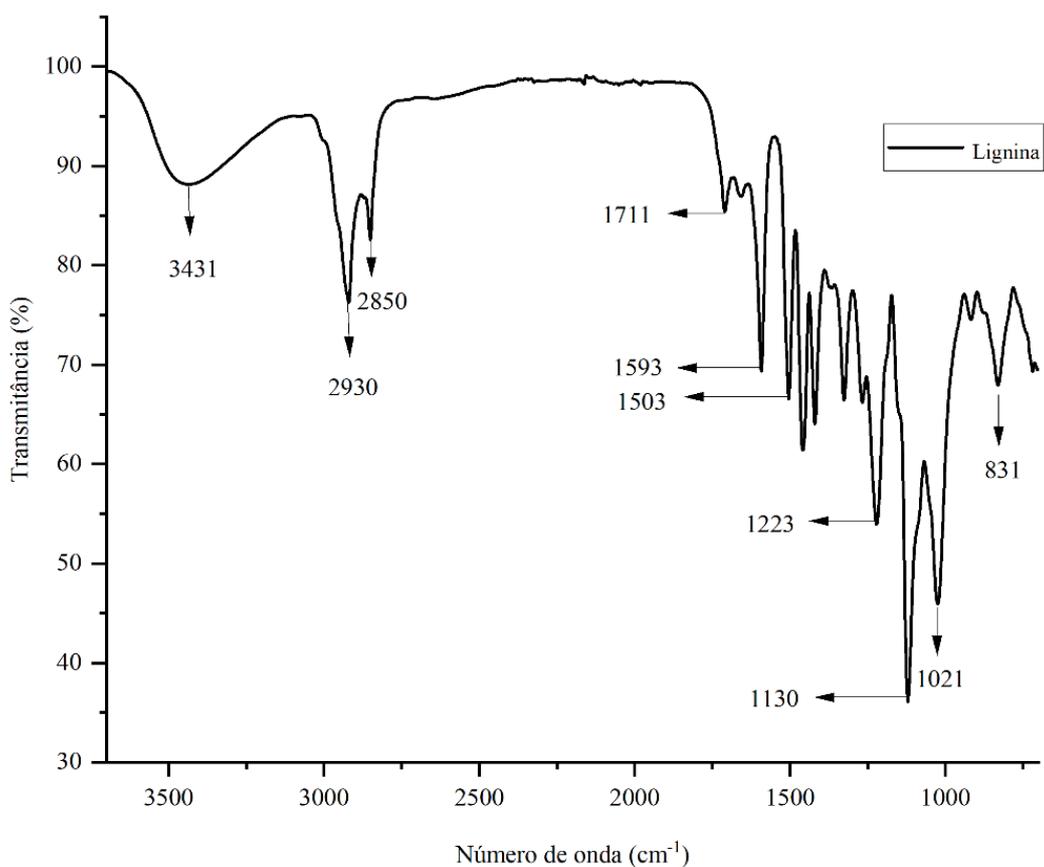
Figura 4: Lignina.



Fonte: Acervo próprio.

O gráfico de infravermelho obtido (figura 5) apresenta bandas bem definidas e seus valores dos picos característicos apresentados condizem com a literatura descrita por (OLIVEIRA, 2016; QUINELATO 2016; CHEN *et al.*, 2015 e GAMBARATO, 2014) quanto ao espectro da lignina.

Figura 5: Espectro obtido por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) da lignina extraída da maravalha de eucalipto.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4: Bandas presentes no espectro FTIR de lignina organosolve e suas atribuições.

Número de onda (cm⁻¹)	Atribuições
3440 – 3375	Estiramento de grupos hidroxílicos O-H
3000	Estiramento C-H em grupos metílicos e metilênicos
2936-2850	Estiramento C-H alifático
1720-1700	Estiramento C=O em cetonas não conjugado, carbonilas e grupos éster
1675-1660	Estiramento C=O (conjugado)
1603-1514	Vibrações do esqueleto aromático C=C
1470-1460	Deformação angular C-H de CH ₃ E CH ₂
1430-1415	Vibração do esqueleto aromático combinado com deformação C-H no plano
1270	Vibração do anelguiacilícos, influenciada por estiramento C=O
1221 – 1230	Estiramento C-C e C-O
1140	Estiramento de C-O de álcoois secundários
1060 – 1030	Deformação angular C-O do grupo metoxil
865-815	Deformação de C-H aromático fora do plano

Fonte: OLIVEIRA (2016) e QUINELATO (2016).

Ao analisar a figura 5 associada à tabela 4 pode-se afirmar que os picos de maior relevância presentes no espectro podem ser descritos como a seguir. Estiramento em 3431cm⁻¹, que presumimos sua ocorrência pela presença de hidroxilas (GAMBARATO, 2014). No intervalo de 2850 a 3000 cm⁻¹ presença caracterizada pelo estiramento de C-H alifático comum em grupos metílicos e metilênicos (GAMBARATO, 2014). O pico presente em 1711 cm⁻¹ presume-se que está representando o estiramento de C=O de cetonas não conjugadas, carbonilas e grupo éster (GAMBARATO, 2014). Em 1593 cm⁻¹, a presença do pico ocorre pelo estiramento de C-C do esqueleto aromático e estiramento de C=O; o pico 1503 cm⁻¹ pode ser atribuído as vibrações do esqueleto aromático, esses dois últimos permitem concluir que a estrutura aromática, característica da

lignina, está presente na amostra obtida (LI e GE, 2011; GAMBARATO, 2014). O pico 1223 cm^{-1} é atribuído ao estiramento do tipo C-C e C-O, já o pico presente em 1130 cm^{-1} atribui o estiramento C-C e C-O em grupos éster conjugados; em 1021 cm^{-1} presume-se sua caracterização pela deformação no plano de C-H aromático e deformação C-O em álcoois primários, e em 831 cm^{-1} é característico de deformações do tipo C-H fora do plano nas posições 2, 5 e 6 de unidade Guaiacila (LI e GE, 2011).

Após a caracterização por infravermelho partiu-se para a determinação da pureza da lignina obtida. Como pode ser visto na tabela 5 o teor de lignina em (%) obtido com a amostra obtida tem a média de 81,4% indicando bom índice de pureza, considerando que a biomassa é constituída de celulose, hemicelulose e lignina (LEPAGE *et al.* 1986).

Tabela 5: Teor de pureza da lignina.

Análise	Biomassa bruta (%)	Biomassa pós extração (%)	Lignina (%)
	27,2	8,46	82,5
Teor de lignina	24,8	8,01	79,7
	25,1	8,11	82,0

Fonte: Autoria própria

4.3 Produção de organomineral e granulação

Um fertilizante, seja ele de base mineral ou orgânica pode se apresentar em diferentes naturezas físicas, são elas: farelado grosso, farelado, farelado fino, pó, microgranulado, mistura de grânulos e granulado/mistura granulada sendo a última citada utilizada para estudo nessa pesquisa (MAPA, 2020). A proporção utilizada entre fertilizante orgânico e mineral (superfosfato triplo) para a produção do organomineral foi de 60 e 40% respectivamente. A instrução normativa n° 25 de 2009 não estipula uma proporção exata para a produção de um fertilizante organomineral, mas sim um quantitativo mínimo em % de macro e micronutrientes presente no produto, tendo pequena variação dependendo da aplicação final. Assim, neste trabalho optou-se por seguir a proporção utilizada pelo Laboratório de Fitoquímica e fertilizantes organominerais do Instituto

Federal Goiano - Campus Rio Verde, dessa forma o produto atende plenamente as exigências para comercialização. A composição do material pode ser visualizada na tabela 6, atendendo aos parâmetros determinados na IN nº 25 de 2009 do MAPA. e figura 6 respectivamente.

Tabela 6 – Caracterização físico-química do fertilizante organomineral.

Componentes	Concentração (g kg⁻¹)	Concentração (mg kg⁻¹)	%	CaCl₂	(mmolc kg⁻¹)
N	30,1		3,01		
P₂O₅	82,5		8,25		
K₂O	43,1		4,31		
Ca	97,5		9,75		
Mg	9,8		0,98		
S (SO₄)	9,6		0,96		
Fe		12893,6			
Mn		562,8			
Cu		627,0			
Zn		321,3			
B		14,8			
CTC					592
C.O.	412,6		41,26		
C/N	14,5		1,45		
pH				7,8	
Umidade			3,73		

Fonte: Aatoria própria.

Figura 6: Fertilizante organomineral granulado



Fonte: Acervo próprio.

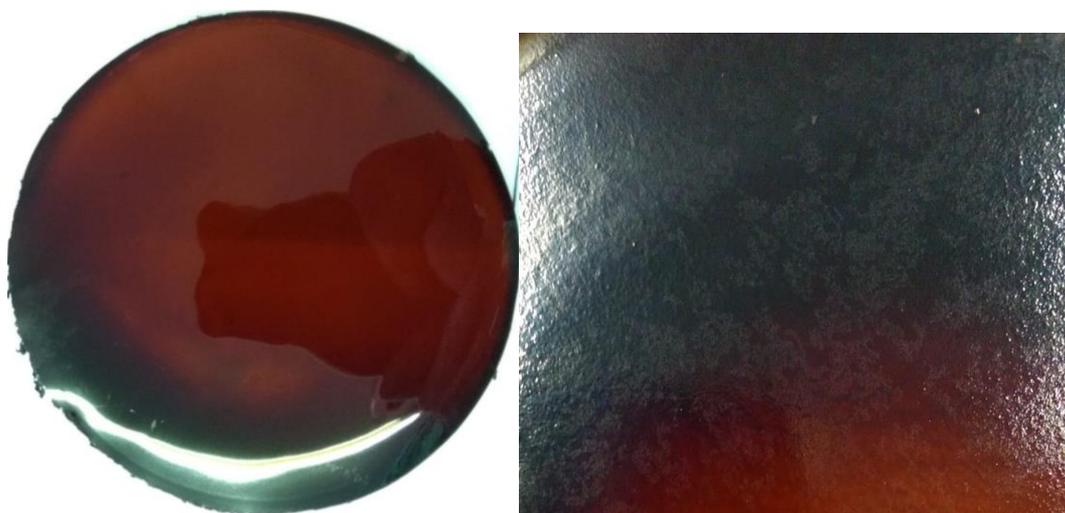
Os grânulos produzidos apresentaram uniformidade no tamanho, gerando o aproveitamento de 97% do material produzido, considerando a instrução normativa nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que estabelece o intervalo de 2 a 4,8 milímetros para o tamanho dos grânulos de fertilizantes.

4.4 Obtenção do compósito amido-lignina e revestimento dos grânulos

Considerando a metodologia de recobrimento dos grânulos por aspersão buscou-se um método que obtivesse compósito líquido o suficiente para aspersão e que formasse filme para recobrimento dos grânulos. Seguindo a metodologia descrita no item 3.4 obteve-se com êxito um compósito fluido o suficiente para aplicação em revestimento por aspersão e que formasse o filme. A figura 7 mostra o filme formado a partir do compósito de amido-lignina. A lignina é uma molécula de estrutura extremamente complexa e ainda pode ter inúmeras variações dependendo do método de extração, quanto mais agressivo for o método utilizado no processo mais a molécula de lignina se degrada e acaba alterando suas características (WANG *et al.*, 2021). Considerando o espectro mostrado na figura 5, a lignina utilizada apresenta estrutura com mínima

alteração, visto que as bandas obtidas corroboram com a literatura. Neste sentido Aqlil *et al.* (2017) afirma que a lignina interage por ligações de hidrogênio com o amido formando um compósito. Um esquema dessas interações pode ser visto na figura 8.

Figura 7: Filmes do compósito amido-lignina.



Fonte: Acervo próprio.

4.5 Ensaio de liberação de nutrientes (lixiviação de K e P)

Nos ensaios de lixiviação foi determinado concentrações de potássio (K) no lixiviado de 0, 48 e 96 horas e no solo após 168 horas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata e os dados obtidos passaram pelo Teste de Tukey. Os dados da análise estatística podem ser vistos nas tabelas 6 e 7.

Tabela 7 -:Análise de Variância - Concentração de K em lixiviado.

Análise de Variância – concentração de K em diferentes tempos					
	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc
Revestimento	4	4301,2	2	302,77**	0,0000e ⁰⁰
Tempo	2	2873,9	4	404,60**	0,0000e ⁰⁰
Revestimento*Tempo	8	911,3	3	32,07**	1,1887e ⁻¹²
Resíduo	30	106,5	5		
Total	44	8193,0	1		
CV = 8,84%					

** médias significativas a 1% pelo teste F.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 - Concentração de K lixiviado.

Tratamentos	Concentração de K (ppm) liberada em diferentes tempos		
	0 h	48 h	96 h
T ₁	5,76 Ac	6,06 Ad	5,6 Ad
T ₂	20,83 Ca	34,70 Ba	53,54 Aa
T ₃	9,93 Cbc	24,07 Bb	34,97 Ab
T ₄	9,50 Cbc	18,00 Bc	28,73 Ac
T ₅	12,03 Cb	22,97 Bb	33,10 Abc

Fonte: Autoria própria.

*T₁: amostra contendo apenas solo; T₂: solo com fertilizante sem revestimento; T₃: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-1% respectivamente; T₄: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-5% respectivamente e T₅: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-10% respectivamente. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pôde-se observar que os tipos de fertilizantes associado ao tempo, exerceu influência conjunta na liberação do K. O tratamento controle, quando avaliado isoladamente em função do tempo apresentou valores médios semelhantes, porém, eles foram inferiores e estatisticamente diferentes quando comparado com os demais tratamentos. Por outro lado, T₂, T₃, T₄ e T₅ conferiram maior liberação de K no tempo 96 independentemente do revestimento do fertilizante. Ademais, o T₂ proporciona a liberação mais intensa de K.

Tabela 9 -:Análise de Variância - Concentração de K no solo após 168h.

Análise de Variância – K no solo					
	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc
Tratamento	4	234,94	3	319,21**	1,6894e ⁻¹⁰
Resíduo	10	1,84	2		
Total	14	236,78	1		

CV = 4.63%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 -:Concentração de K no solo após 168h.

	Concentração de K (ppm)	K lixiviado
T ₁		3,46 d
T ₂		15,5 a
T ₃		11,06 b
T ₄		8,06 c
T ₅		8,20 c

Fonte: Autoria própria.

Apresentando efeito aditivo, os tratamentos com fertilizantes apresentaram maiores valores médios para a lixiviação do K, seguindo o mesmo padrão de comportamento da interação com o tempo, no qual o T1 (controle) promove menor lixiviação, e o T2 (sem revestimento) uma lixiviação mais intensa. T3 apresentou valor menor que T2 entretanto superior em relação a T4 e T5, que são estatisticamente iguais entre si.

Tabela 11 -:Análise de Variância - Concentração de P em lixiviado.

Análise de Variância - concentração de P em diferentes tempos.					
	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc
Revestimento	4	10130,9	3	750,41**	0,00e ⁺⁰⁰
Tempo	2	1721,2	5	254,9 9**	1,50e ⁻¹⁹
Revestimento*Tempo	8	1545,1	2	57,22**	4,65e ⁻¹⁶
Resíduo	30	101,3	4		
Total	44	13498,5	1		

CV = 6.29%

** médias significativas a 1% pelo teste F.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12: Concentração de P lixiviado.

Tratamentos	Concentração de P (mg/L) liberada em diferentes tempos		
	0h	48h	96h
T1	5,27 Da	4,97 Da	4,87 Da
T2	33,57 Ac	46,43 Ab	74,33 Aa
T3	21,10 Cb	26,20 Ca	29,00 Ca
T4	24,33 Cb	25,83 Cb	37,67 Ba
T5	29,00 Bc	34,07 Bb	41,67 Ba

Fonte: Autoria própria.

***T**₁: amostra contendo apenas solo; **T**₂: solo com fertilizante sem revestimento; **T**₃: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-1% respectivamente; **T**₄: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-5% respectivamente e **T**₅: solo com fertilizante revestido com blenda amido-lignina 4%-10% respectivamente. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim, como os dados apresentados para o K pôde-se observar que os tipos de fertilizantes associado ao tempo exerceram influência conjunta na liberação do P. Avaliando os tratamentos em função do tempo isoladamente pode-se observar que T1 não apresentou diferenças de concentração de P no lixiviado, porém, eles foram inferiores e estatisticamente diferentes quando comparado com os demais tratamentos. T2 foi o tratamento que apresentou maior liberação de P em relação aos demais tratamentos e o que sofreu maior influência isoladamente com o tempo. T3, T4 e T5 apresentaram valores de P lixiviado menores que T2, entretanto T3 e T4 nos tempos 0 e 48 h e T4 e T5 no tempo 96 são iguais estatisticamente, indicando que os tratamentos 3, 4 e 5 exercem influência no processo de liberação de nutrientes em comparação ao fertilizante sem tratamento de revestimento, mas as diferenças de concentração nos tratamentos não exercem influência significativa no processo de liberação.

Tabela 13 -:Análise de Variância - Concentração de P no solo após 168h.

	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc
Tratamento	4	3540,3	885,06	203,65	1,56e ⁻⁰⁹
Resíduo	10	43,5	4,35		
Total	14	3583,7			

CV = 7,15%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 -:Concentração de P no solo após 168h.

Concentração de P (mg/L)	P lixiviado
T1	4,20 c
T2	52,67 a
T3	31,10 b
T4	28,33 b
T5	29,43 b

Fonte: Autoria própria.

Apresentando efeito aditivo, os tratamentos com fertilizantes apresentaram maiores valores médios para a lixiviação do K, seguindo um mesmo padrão de comportamento da interação com o tempo, no qual o T1 (controle) promove menor lixiviação, e o T2 (sem revestimento) uma lixiviação mais intensa. T3, T4 e T5 apresentaram valores menores que T2 entretanto não diferem entre si estatisticamente.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

A tecnologia de revestimento dos grânulos de fertilizante organomineral com compósito amido-lignina conferiu a capacidade de liberação gradativa de P e K para a água e solo no ensaio de lixiviação.

Os tratamentos com 1%, 5% e 10% de lignina apresentaram resultados superiores ao fertilizante sem tratamento de revestimento quanto a liberação gradual de nutrientes. A liberação de K apresentou aumento gradativo das concentrações liberadas, com o passar do tempo, já as concentrações de P que foram liberadas se mantiveram constantes. Contudo, os tratamentos de revestimento mostram ter capacidade de influência na liberação gradual de nutrientes em relação ao fertilizante sem revestimento, mas as diferentes concentrações de ligninas não demonstraram relação significativa de influência no processo de liberação gradual.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. Relatório Anual. **Associação Brasileira de Proteína Animal**, p. 80, 2021.

AQLIL, M. et al. Graphene Oxide Filled Lignin/Starch Polymer Bionanocomposite: Structural, Physical, and Mechanical Studies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 48, p. 10571–10581, 2017.

BASTIOLI, C.; **Handbook of Biodegradable Polymers**. Shawbury: Rapra Technology Limited, 552p, 2005. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527635818>>. Acesso em 01 fev. 2021.

BORGES, B. M. M. N. et al. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, v. 339, n. July 2018, p. 20–30, 2019.

BUENO, P.; TAPIAS, R.; LÓPEZ, F.; DÍAS, M. J. Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. **Bioresource Technology**, 99. p. 5069–5077. 2008.

CHEN, J. et al. Research Progress in Lignin-Based Slow/Controlled Release Fertilizer. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4356–4366, 2020.

CHEN, Z.; HU, T.Q.; JANG, H.F.; GRANT, E. Modification of xylan in alkaline treated bleached hardwood kraft pulps as classified by attenuated total-internal-reflection (ATR) FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers** 2015, 127, 418.
[Modification of xylan in alkaline treated bleached hardwood kraft pulps as classified by attenuated total-internal-reflection \(ATR\) FTIR spectroscopy - ScienceDirect](#)

CHOJNACKA, K. et al. Recovery of fertilizer nutrients from materials - Contradictions, mistakes and future trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, n. May, p. 485–498, 2019.

CORRADINI, E. et al . Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, São Carlos , v. 15, n. 4, p. 268-273, Nov. 2005. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282005000400011&lng=en&nrm=iso>. acesso

em 22 jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282005000400011>.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Organomineral Fertilizer as Source of P and K for Sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2020.

CRUZ, C. D. Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, p. 547-552, 2016.

DALÓLIO, F. S. et al. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, n. November 2016, p. 941–949, 2017.

EMPRESA CONCLUI INVESTIMENTO DE R\$ 100 MILHÕES EM GRANJAS E INCUBATÓRIOS. **Globorural**. 2018. Disponível em: <https://globorural.globo.com/Noticias/Empresas-e-Negocios/noticia/2018/07/empresa-conclui-investimento-de-r-100-milhoes-em-granjas-e-incubatorios.html> Acesso em: 18/07/2022

FENG, G. et al. Consequences of pelletized poultry litter applications on soil physical and hydraulic properties in reduced tillage , continuous cotton system. **Soil & Tillage Research**, v. 194, n. June, p. 104309, 2019.

FERTAHI, S. et al. Properties of Coated Slow-Release Triple Superphosphate (TSP) Fertilizers Based on Lignin and Carrageenan Formulations. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 7, n. 12, p. 10371–10382, 2019.

GAMBARATO, B. C. **Isolamento e caracterização de ligninas de palha de cana-de-açúcar**. 2014. Tese (Doutorado em Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014

HÄGGSTRÖM, G. et al. Fate of Phosphorus in Fluidized Bed Cocombustion of Chicken Litter with Wheat Straw and Bark Residues. **Energy and Fuels**, v. 34, n. 2, p. 1822–1829, 2020.

HE, Z. et al. Long-Term Cropping System , Tillage , and Poultry Litter Application Affect the Chemical Properties of an Alabama Ultisol. **Pedosphere: An International Journal**, v. 29, n. 2, p. 180–194, 2019.

HUANG, Q. et al. The 19-years inorganic fertilization increased bacterial diversity and altered bacterial community composition and potential functions in a paddy soil. **Applied Soil Ecology**, v. 144, n. July, p. 60–67, 2019.

IBÁ-Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual 2016. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

IBÁ-Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual 2017. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

KOPITTKE, P. M. et al. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. **Environmental Science: Nano**, v. 6, n. 12, p. 3513–3524, 2019.

KYAKUWAIRE, M. et al. How safe is chicken litter for land application as an organic fertilizer? A review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, 2019.

LAWRENCIA, D. et al. Controlled release fertilizers: A review on coating materials and mechanism of release. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 1–26, 2021.

LEPAGE, E. S.; OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LOPEZ, G. A. C.; CHIMELO, J. P.; OLIVEIRA, L. C. S.; CAÑEDO, M. D.; CAVALCANTE, M. S.; IELO, P. K. Y.; ZANOTTO, P. A.; MILANO, S. *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo: IPT. 2. ed. 1986. 708p.

LI, F. et al. Bacterial community structure after long-term organic and inorganic fertilization reveals important associations between soil nutrients and specific taxa involved in nutrient transformations. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. FEB, 2017.

LI, Z.; GE, Y. Extraction of lignin from sugar cane bagasse and its modification into a high performance dispersant for pesticide formulations. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 2011, 22, 1866.

<https://www.scielo.br/j/jbchs/a/MCbndnSWdhD8ZSbPwZZtzkp/?format=pdf&lang=en>

MAJEED, Z. et al. Lignin Macromolecule ' s Implication in Slowing the Biodegradability of Urea Crosslinked Starch Films Applied As Slow Release Fertilizer † Department of Chemical Engineering , Universiti Teknologi PETRONAS , Bandar Seri Alkali Soil Natural Environmental S. 2017.

MASUD, M. M. et al. Liming effects of poultry litter derived biochar on soil acidity amelioration and maize growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 202, n. June, p. 110865, 2020.

MOTA, R. P. DA et al. Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral fertilizer on soybean responses. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, n. 2, p. 131–137, 2019.

NASROLLAHZADEH, M. et al. Starch, cellulose, pectin, gum, alginate, chitin and chitosan derived (nano)materials for sustainable water treatment: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 251, n. May 2020, p. 116986, 2021.

NKURUNZIZA, L. et al. Socio-ecological factors determine crop performance in agricultural systems. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2020.

OLIVEIRA, A. F. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de biofilmes e esferas obtidos a partir de carboximetilcelulose e alginato de sódio em processos de liberação controlada de nutrientes**. 2012. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemática, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

OLIVEIRA, C. T.; **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de São Carlos, Brasil, 2016. [Estudos de separação de lignina do licor negro kraft em diferentes condições experimentais: caracterização e fracionamento \(ufscar.br\)](#)

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.A.; JÚNIOR, J.L. Compostagem dos resíduos da produção avícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v 30. n 3. p. 538-545. 2010.

PEDROZA, M. M. et al. Methane and Electricity Production from Poultry Litter Digestion in the Amazon Region of Brazil: A Large-Scale Study. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 11, p. 5807–5820, 2021.

PIMSEN, R. et al. Efficiency enhancement of slow release of fertilizer using nanozeolite–chitosan/sago starch-based biopolymer composite. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 18, n. 5, p. 1321–1332, 2021.

POKHREL, S. et al. Impact of Cover Crops and Poultry Litter on Selected Soil Properties and Yield in Dryland Soybean Production. p. 1–18, 2021.

QUINELATO, C.; **Dissertação de Mestrado**, Universidade Paulista, Brasil, 2016. [Dissertação de Mestrado Cristiane \(unesp.br\)](#)

RAMLI, R. A. Slow release fertilizer hydrogels: A review. **Polymer Chemistry**, v. 10, n. 45, p. 6073–6090, 2019.

SARWONO, A. et al. Swelling mechanism of urea cross-linked starch–lignin films in water. **Environmental Technology (United Kingdom)**, v. 39, n. 12, p. 1522–1532, 2018.

SIKDER, S.; JOARDAR, S. S. J. C. Biochar production from poultry litter as management approach and effects on plant growth. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 47–58, 2019.

SINGH, B. Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? **Agronomy**, v. 8, n. 4, 2018.

SOUZA, J. R. M. DE et al. Yellow melon yield in response to mineral or organic fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 9, p. 1197–1204, 2018.

SUPARE, K.; MAHANWAR, P. A. Starch-derived superabsorbent polymers in agriculture applications: an overview. **Polymer Bulletin**, n. 0123456789, 2021.

UNITED NATIONS. World Population Prospects 2019: Methodology of the United Nations population estimates and projections. **Department of Economic and Social Affairs, Population Division**, p. 61, 2019.

VALLEJOS, M. E.; FELISSIA, F. E.; CURVELO, A. A. S.; ZAMBON, M. D.; RAMOS, L.; AREA, M. C. Chemical and physico-chemical characterization of lignins obtained from ethanol-water fractionation of bagasse. **BioResources**, v. 6, n. 2, p. 1158–1171, 2011.

VASSILEV, N. et al. Production of a potential liquid plant bio-stimulant by immobilized *Piriformospora indica* in repeated-batch fermentation process. **AMB Express**, v. 7, n. 1, 2017.

VEJAN, P. et al. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. **Journal of Controlled Release**, v. 339, n. May, p. 321–334, 2021.

VERSINO, F.; URRIZA, M.; GARCÍA, M. A. Cassava-based biocomposites as fertilizer controlled-release systems for plant growth improvement. **Industrial Crops and Products**, v. 144, n. December 2019, p. 112062, 2020.

VERSINO, F.; URRIZA, M.; GARCÍA, M. A. Eco-compatible cassava starch films for fertilizer controlled-release. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134, p. 302–307, 2019.

WANG, H. M. et al. Advanced and versatile lignin-derived biodegradable composite film materials toward a sustainable world. **Green Chemistry**, v. 23, n. 11, p. 3790–3817, 2021.

ZAFAR, N. et al. Starch and polyvinyl alcohol encapsulated biodegradable nanocomposites for environment friendly slow release of urea fertilizer. **Chemical Engineering Journal Advances**, v. 7, n. March, p. 100123, 2021.