EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL PRODUZIDO COM TECNOLOGIA EXES+ NA CULTURA DO CAPIM SUDÃO

AGRONOMIC EFFICIENCY OF ORGANOMINERAL FERTILIZER PRODUCED WITH EXES+ TECHNOLOGY IN SUDAN GRASS CULTIVATION

Pedro Otávio Figueiredo Stefani, Universidade Federal de Santa Maria, pedrootaviostefani@gmail.com; **Clovis Orlando Da Ros,** Universidade Federal de Santa Maria, clovisdaros@gmail.com; **Patrícia Figueiredo Stefani**, Universidade Federal de Santa Maria, patriciamfstefani@yahoo.com.br; **Gabriel Anderson Wachholz,** Universidade Federal de Santa Maria, gabriel.wachholz1996@gmail.com.

GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo
O uso de fertilizantes organominerais vem ganhando destaque na agricultura sustentável por proporcionar benefícios agronômicos e ambientais. Este estudo avaliou a eficiência agronômica de um fertilizante organomineral, produzido com a tecnologia EXES+, na cultura do capim sudão (*Sorghum sudanense*). O experimento foi conduzido em condições controladas, comparando o fertilizante organomineral com o fertilizante mineral. Foram analisados parâmetros como crescimento vegetativo e produção de biomassa. Os resultados demonstraram que o fertilizante organomineral apresenta eficiência agronômica semelhante ou superior ao fertilizante mineral, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável para a fertilização de gramíneas forrageiras.
Palavras-chave: Fertilizante organomineral; Capim-sudão; Sustentabilidade; Nutrição vegetal; Produção agrícola.

Abstract
The use of organomineral fertilizers has been gaining prominence in sustainable agriculture due to their agronomic and environmental benefits. This study evaluated the agronomic efficiency of an organomineral fertilizer produced with EXES+ technology in the cultivation of Sudan grass (Sorghum sudanense). The experiment was conducted under controlled conditions, comparing the organomineral fertilizer with a mineral fertilizer. Parameters such as vegetative growth and biomass production were analyzed. The results showed that the organomineral fertilizer presents agronomic efficiency similar to or greater than that of the mineral fertilizer, highlighting its potential as a sustainable alternative for the fertilization of forage grasses.
Keywords*: Organomineral fertilizer; Sudan grass; Sustainability; Plant nutrition; Agricultural production.*

1. Introdução

Desde os primórdios sobre a terra, os seres humanos se veem às voltas com os problemas de economia e gerenciamento dos sistemas produtivos. A busca pelo aumento da produtividade, principalmente de alimentos, ainda figura na base das preocupações humanas. Em nível mundial, a população mais do que duplicou nos últimos 50 anos. Seguindo essa lógica de crescimento, estima-se que em 2050 a população urbana chegará a 6,7 bilhões de pessoas, enquanto a população rural será de 3,1 bilhões de habitantes (ONU, 2022). Dentro deste contexto, para atender a demanda alimentar, o homem rural atual foi compelido a se tornar muito mais produtivo do que o de antigamente, já que uma menor população rural tem que produzir para um maior número de pessoas.

Tal feito só foi possível em razão dos avanços tecnológicos, os quais resultaram em importantes transformações socioeconômicas nas propriedades rurais. A ampla difusão tecnológica observada nos últimos 70 anos provocou um salto nos índices de produtividade. Dentre as diversas práticas, merecem destaque as técnicas de adubação, as quais tem a

finalidade de fornecer nutrientes às culturas, através da adição de componentes minerais ou orgânicos ao solo, e consequentemente aumentando a produtividade.

Inicialmente, é importante mencionar onde e quando iniciou a prática da adubação. A prática da adubação, na sua maneira mais arcaica, teve origem nos povos asiáticos, mais especificamente chineses, que utilizavam de húmus, esterco animal e humano e resíduos vegetais para adubarem seus cultivos. Os egípcios, por sua vez, se beneficiavam das cheias do rio Nilo, que depositavam húmus sobre seus solos permitindo o cultivo de cereais (Dias, 2005). Essa realidade perdurou até, aproximadamente, o final do século XIX, onde o modelo produtivo foi transformado por descobertas científicas que abriram caminho para o uso de fertilizantes minerais.

No ano de 1843, surge na Inglaterra a primeira fábrica de fertilizantes minerais, iniciando com a produção do superfosfato simples e, posteriormente, a produção de fertilizantes nitrogenados (Quartucci, 2007). O aumento da produtividade decorrente da utilização de tais fertilizantes trouxe como consequência o abandono, pelos agricultores, das práticas de adubação orgânica, criando um modelo de agricultura cada vez mais dependente de insumos externos às propriedades rurais. Assim, séculos depois, analisando o contexto mundial e brasileiro, é possível constatar que a crescente utilização da adubação mineral no sistema produtivo foi responsável pelo substancial aumento da produtividade de produtos agropecuários. Corroborando com essa informação, Farias et al. (2021) relatam que, atualmente, as importações brasileiras de NPK representaram mais de 80% do total de fertilizantes utilizados pelo sistema produtivo, em contraste com 32%, das importações desse mesmo fertilizante, na década de 1970.

Deve-se destacar que a utilização massiva de fertilizantes minerais resultou na abundância de grãos e pastagens e, consequentemente, na ampliação do sistema de produção de animais. Passou-se a criar mais gado confinado, houve o aumento dos rebanhos, expansão da pecuária, suinocultura e avicultura. Entretanto, em decorrência disso ocorreu o aumento da produção de resíduos (dejetos). Nesse contexto, surge a preocupação em destinar adequadamente esses passivos ambientais, já que se trata de uma questão de suma importância, pois o manejo inadequado desses resíduos acaba impactando negativamente o meio ambiente e comprometendo a sustentabilidade do setor.

De outro lado, os fertilizantes organominerais são produzidos a partir dos passivos ambientais (dejetos), demonstrando uma possibilidade de se agregar valor a tais produtos. Benites et al. (2013), apresentam vantagens no uso desses passivos ambientais no processo produtivo, já que é considerado menos complexo e oneroso quando confrontado aos fertilizantes minerais. Sob o aspecto agronômico, ressalta-se a redução da perda de nitrogênio se comparada a aplicação superficial dos resíduos e a maior eficiência esperada no fornecimento de fósforo (comparado aos fertilizantes minerais). Portanto, neste estudo apresentado como uma alternativa para suprir a demanda de nutrientes exigidos pelas forrageiras tais como o capim sudão.

A cultura do capim sudão (*Sorghum sudanense*) possui uma vasta abrangência de uso, com destaque para o Rio Grande do Sul. É também muito utilizado em todas as regiões do país, destacando-se nos estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e sul da Bahia (EMBRAPA, 2014). No estado do Rio Grande do Sul o capim sudão é mais utilizado para a formação de pastagens temporárias de verão, enquanto no centro-oeste, são semeadas em linha, para serem colhidas mecanicamente, e ainda podem ser uma alternativa para silagem em locais de regime hídrico mais rigoroso no verão (Zago, 1997).

Diante dos desafios do agronegócio relacionados à gestão da propriedade rural, ao alto custo dos insumos e à busca por maior eficiência produtiva e sustentabilidade, torna-se essencial investigar alternativas viáveis ao uso de fertilizantes minerais convencionais. O investimento

em novas tecnologias, como os fertilizantes organominerais, representa uma estratégia promissora para aumentar a produtividade, reduzir custos e minimizar os impactos ambientais. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência agronômica do fertilizante organomineral, produzido com a tecnologia EXES+, na cultura do capim sudão.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen/RS, localizado na latitude sul 27°23’24’’ e longitude oeste 53°25’39’’, e altitude de 480 metros do nível do mar. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média entre 1.800 e 2.100 milímetros anuais (Alvares et al., 2013).

O experimento foi conduzido durante 111 dias em casa de vegetação, sob regime hídrico de duas irrigações diárias, as 06:00 e as 18:00. O delineamento experimental adotado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro tratamentos e seis repetições, totalizando 24 unidades experimentais (UE). Os tratamentos foram diferentes doses e tipos de fertilizantes (mineral e organomineral). A dose do fertilizante mineral foi equivalente à 100% da recomendação NPK da SBCS (2016). No tratamento com fertilizante organomineral, foram utilizadas doses de 70 e 100% da recomendação NPK, conforme delimitada pela SBCS (2016). Como testemunha, foi utilizada um tratamento sem fertilizante.

O fertilizante mineral foi obtido pela mistura de grânulos na proporção de 65 e 35% de fosfato monoamônico (MAP) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente. As concentrações de N e P_2O_5 no MAP foram de 11 e 51%, respectivamente. A concentração de K_2O no KCl foi de 60%. Com as proporções das misturas e das concentrações de nutrientes, a formulação NPK resultante foi 07-33-21.

O fertilizante organomineral foi produzido a partir da granulação da mistura especificada na Tabela 1, denominada de Base Granulada (BG). A granulação foi por Extrusão e Esferonização (EXES), que caracteriza a premissa da Tecnologia EXES+ desenvolvida na UFSM-FW para produção de fertilizantes organominerais com alto valor agregado (Figura 1). A granulação foi na Unidade de Granulação, localizada na UFSM, campus de Frederico Westphalen/RS.

Tabela 1: Componentes e proporções para produção da base granulada (BG)

Componentes	Proporção (% base seca)
Composto orgânico*	60,0
Fosfato natural reativo	26,0
Pó de rocha	6,2
Ácido bórico	0,9
Sulfato de zinco	1,4
Gesso agrícola	5,5

*Composto orgânico proveniente da Empresa Adubare, obtido por meio de compostagem de diferentes resíduos orgânicos. Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a granulação, a BG foi submetida a secagem a temperatura até 65ºC. Os grânulos foram classificados entre 1,0 e 4,8 mm, conforme a normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2020). A concentração de nutrientes na base granulada está especificada na tabela 2.

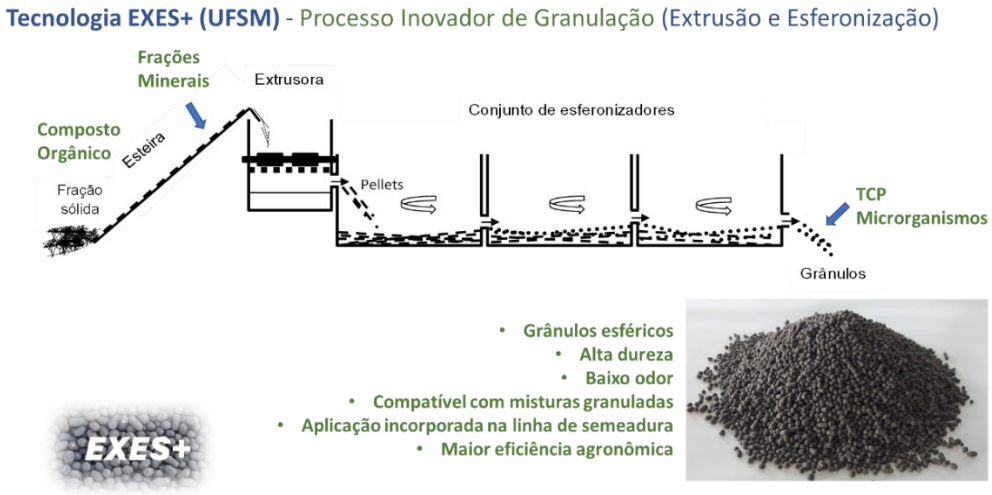


Figura 1: Esquema geral do processo de granulação por Extrusão e Esferonização das misturas para obtenção da Base Granulada (Tecnologia EXES+). Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 2. Concentrações de nutrientes da base granulada

Nutriente		Concentração (%)
N	Total	2,0
P_2O_5	Total	11,0
	Solúvel (H_2O + CNA)	5,0
K_2O	Solúvel em H_2O	7,0
Ca		8,0
S		2,0
Zn		0,20
B		0,10
Mn		0,05
Fe		4,0
Si		7,0

Fonte: Elaborada pelos autores

Após a secagem e classificação da BG, os grânulos foram borrifados com uma suspensão contendo microrganismos promotores de crescimento. O produto comercial, denominado de TCP (Tecnologia de Consórcios Probióticos), foi fornecido pela Global Biotecnologia. Posteriormente, a BG foi misturada com MAP e KCl, na proporção de 80, 10 e 10%, respectivamente, resultando na formulação organomineral composta por NPK (02-11-07), macronutrientes secundários (8,0% de Ca e 1,0% de S); micronutrientes (0,10% de B; 0,20% de Zn; 4,0% de Fe e 0,05% de Mn; além de 7,0% de Si como elemento benéfico às plantas e 8,0% de carbono orgânico.

A cultura do capim sudão, cultivar BRS Estribo, foi semeada no dia 08 de dezembro de 2023, com uma densidade de semeadura de 30 sementes UE^{-1} (600 sementes m^{-2} ou 6.000.000 sementes ha^{-1}). O poder germinativo foi de 80%, de modo que a população final fosse de 24 plantas UE^{-1} (480 plantas m^{-2} ou 4.800.000 plantas ha^{-1}).

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de 10,0 L (área de 500 cm^2), preenchidos com solo. O solo utilizado foi caracterizado como

Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2018). Os atributos físicos e químicos do solo estão especificados na tabela 3.

Tabela 3. Atributos físicos e químicos do solo e da mistura utilizada nas unidades experimentais

Parâmetro	Valor (classe de disponibilidade)
Argila (%)	82
Classe textural	1
pH em água	5,0
Índice SMP	5,3
Matéria orgânica (%)	1,6
Fósforo (P) - (mg L^{-1})	3,2 (baixo)
Potássio (K) - (mg L^{-1})	37,5 (baixo)
Cálcio (Ca) - (cmolc L^{-1})	2,5 (médio)
Magnésio (Mg) - (cmolc L^{-1})	0,8 (médio)
Alumínio (Al) - (cmolc L^{-1})	1,7
Hidrogênio + alumínio (H+Al) - (cmolc L^{-1})	6,8
CTC Efetiva (cmolc L^{-1})	5,1
CTC em pH 7,0 (cmolc L^{-1})	10,2
Saturação de CTC por bases (%)	33,3
Saturação de CTC por alumínio (%)	33,3
Cobre (Cu) – (mg L^{-1})	22, 4 (alto)
Zinco (Zn) – (mg L^{-1})	4,3 (alto)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base na análise de solo (Tabela 3) e da expectativa de rendimento, delimitada em 12 t ha^{-1}, foram recomendados 180 kg/ha de N; 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 140 kg ha^{-1} de K_2O (SBCS, 2016). A adubação foi realizada em duas épocas: na semeadura e em cobertura (após o terceiro corte da biomassa). Na semeadura, os fertilizantes foram aplicados de forma localizada, entre 4 e 5 cm de profundidade. Em cobertura, os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação, imediatamente antes da irrigação. As quantidades de nutrientes e de fertilizantes aplicados na semeadura estão especificadas na Tabela 4.

Tabela 4. Formulação e quantidades de nutrientes e fertilizantes aplicadas em cada tratamento, no momento da semeadura

Tratamentos	Formulação NPK	Doses de nutrientes aplicadas na semeadura (kg ha^{-1})			Dose da formulação	
					(kg ha^{-1})	(g UE^{-1})
Testemunha	----	00	00	00	0	0
FM[(1)] (100% da recomendação)	07-33-21	27	130	83	394	1,97
FOM[(2)] (100% da recomendação)	02-11-07	24	130	83	1.182	5,91
FOM (70% da recomendação)	02-11-07	17	91	58	827	4,14

[(1)]FM: Fertilizante mineral. [(2)]FOM: Fertilizante organomineral. Fonte: Elaborada pelos autores.

A adubação de cobertura foi realizada após o terceiro corte, calculada com base na recomendação e a aplicada no tratamento com fertilizante mineral. Os Valores foram 153 kg ha^{-1} de N (180 – 27 kg ha^{-1}) e 57 kg ha^{-1} de K_2O (140 – 83 kg ha^{-1}). As fontes foram, respectivamente, ureia (45% de N) e KCl (60% de K_2O). As quantidades por UE foram de 1,7 g de ureia e 0,5 g de KCl.

Os parâmetros avaliados na cultura do capim sudão foram massa seca de parte aérea e altura de plantas. A massa seca da parte aérea foi quantificada em quatro épocas (24, 48, 77 e 108 DAE), por meio de cortes realizados à 5,0 cm de altura do solo. A massa seca foi quantificada após secar o material coletado em estufa, a 65 ± 1ºC até que se estabilizasse o seu peso, garantindo a secagem completa. Para quantificar a massa seca foi usado uma balança de precisão. A altura de plantas foi medida antes dos cortes, nas mesmas datas da coleta da parte aérea das plantas, usou-se uma régua milimétrica medindo a partir do nível do solo até o ápice das folhas.

Os parâmetros avaliados na cultura do capim sudão foram massa seca de parte aérea e altura de plantas. A massa seca da parte aérea foi quantificada em quatro épocas (24, 48, 77 e 108 DAE), por meio de cortes realizados à 5,0 cm de altura do solo. A massa seca foi quantificada após secar o material coletado em estufa, a 65 ± 1ºC até que se estabilizasse o seu peso, garantindo a secagem completa. Para quantificar a massa seca foi usado uma balança de precisão. A altura de plantas foi medida antes dos cortes, nas mesmas datas da coleta da parte aérea das plantas, usou-se uma régua milimétrica medindo a partir do nível do solo até o ápice das folhas.

A eficiência do fertilizante organomineral em relação ao fertilizante mineral, foi avaliada através do Índice de Eficiência Agronômica (IEA), comparando os rendimentos de massa seca de capim sudão obtidos com os tratamentos com fertilizante mineral e fertilizante organomineral em dose de nutrientes padrão e reduzida.

Para o cálculo do IEA usou-se a equação: IEA (%) = [(RFOM – RT) / (RFM – RT)] x 100. Onde: RFOM: rendimento de massa seca do tratamento com FOM; RT: rendimento de massa seca do tratamento sem fertilizante (testemunha); RFM = rendimento de massa seca do tratamento com fertilizante mineral.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância e as medias de tratamentos comparadas pelo teste de Scott Knott, com uma probabilidade de erro de até 5%, com o auxílio do software estatístico Sisvar (Ferreira, 2019).

3. Resultados e Discussão

O uso de fertilizantes na cultura do capim sudão contribuiu com incremento na altura das plantas (Tabela 5). Exceto na primeira avaliação, a altura das plantas no tratamento testemunha (sem adubação) foi estatisticamente inferior ao tratamento com FM. Em todas as épocas de avaliação, o FOM, independente da dose, proporcionou aumento da altura de plantas em comparação ao tratamento testemunha. Um aspecto relevante sobre a altura, é a relação entre folhas e colmo, pois à medida que aumenta a altura, o colmo deve ser maior e mais resistente para suportar a estrutura da planta, e consequentemente produzindo mais biomassa.

Os tratamentos apresentaram dinâmicas distintas em relação à produção de massa seca em cada corte (Tabela 6). Notou-se que no tratamento FOM com 70% da dose houve um decréscimo aproximado de 70% de massa seca do segundo corte (48 DAE) para o terceiro corte (77 DAE), enquanto nos tratamentos FOM com dose de 100% e FM os valores de massa seca se mantiveram similares. Provavelmente, o FOM em dose 70% aportou quantias insuficientes de nutrientes para manter a produtividade no terceiro corte. O incremento em produção obtido no quarto e último corte foi decorrente da aplicação de ureia e KCl realizada após o terceiro corte, destacando a importância de se fazer a aplicação nitrogenada de maneira fracionada, especialmente quando se trabalha apenas com fertilizantes minerais com rápida liberação dos nutrientes.

Tabela 5. Altura das plantas do campim sudão realizadas aos 48, 77 e 108 dias após a emergência.

Tratamentos	48 DAE	77 DAE	108 DAE
	---------- cm ----------		
Testemunha	90,8 b[3]	75,0 b	96,0 c
FM[1]	89,0 b	90,0 a	128,6 a
FOM[2] em dose 100%	103,6 a	90,2 a	122,3 a
FOM em dose 70%	99,2 a	93,2 a	109,6 b

[1]FM: Fertilizante mineral. [2]FOM: Fertilizante organomineral [3]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6. Produção de massa seca (g UE^{-1}) do capim sudão em função do tipo e doses de fertilizantes, em diferentes épocas após a emergência das plântulas

Tratamentos	1° Corte (24 DAE)	2° Corte (48 DAE)	3° Corte (77 DAE)	4° Corte (108 DAE)
Testemunha	3,9 b[3]	15,4 b	8,1 c	21,8 b
FM[1]	9,6 a	17,3 b	16,2 b	32,1 a
FOM[2] em dose 100%	8,2 a	25,1 a	27,5 a	29,2 a
FOM em dose 70%	11,6 a	25,3 a	11,5 b	31,0 a

[1]FM: Fertilizante mineral. [2]FOM: Fertilizante organomineral [3]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Elaborada pelos autores.

Sem o uso de fertilizante, a massa seca total (soma dos quatro cortes) foi de 49,2 g UE^{-1}, enquanto nos demais tratamentos os valores de massa seca foram superiores a 75 g UE^{-1} (Tabela 7). Essa diferença representou um incremento de aproximadamente 50% na produtividade do capim sudão nas situações em que se usou fertilizantes.

Tabela 7. Rendimento de massa seca da parte aérea das plantas de capim sudão em função dos tipos e doses de fertilizantes

Tratamentos	Massa seca (g UE^{-1})	Massa seca (t ha^{-1})
Testemunha	49,2 c[3]	9,8 c
FM[1]	75,2 b	15,0 b
FOM[2] em dose 100%	90,8 a	18,2 a
FOM em dose 70%	79,4 b	15,9 b

[1]FM: Fertilizante mineral. [2]FOM: Fertilizante organomineral [3]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Elaborada pelos autores.

O aumento da produtividade da parte aérea pela aplicação dos fertilizantes ocorreu devido aos baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica no solo usado no estudo. Provavelmente, a disponibilidade de fósforo, potássio e de nitrogênio no solo não foram suficientes para atender a demandada das plantas no tratamento sem adubação, mesmo considerando o cenário em que não houve escassez hídrica. Analisando os parâmetros do solo, conforme o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016), destacou-se: o baixo teor de fósforo; baixo teor de potássio; baixo teor de matéria orgânica; níveis elevados de alumínio na CTC que podem comprometer o desenvolvimento radicular; e o pH de 5,0, considerado baixo do valor de referência (6,0) para o cultivo das forrageiras de verão.

O fósforo e o potássio como citado anteriormente, são responsáveis por uma série de processos fisiológicos, dando destaque à questão energética, na qual o fósforo pode ser considerado um gerador de energia para a planta, devido sua função vital na fotossíntese.

Contudo, a demanda por fósforo e potássio no capim sudão é inferior a demanda por nitrogênio, sendo este o nutriente mais requerido na cultura, necessitando ser aplicado de maneira fracionada devido sua dinâmica nos solos. Nota-se nas gramíneas em geral, uma alta responsividade ao nitrogênio, visto que fixação biológica realizada por essas espécies tende a ser mínima ou ausente. Destaca-se também a essencialidade do nitrogênio no crescimento vegetal que foi inferior na testemunha, sinalizando a carência desse nutriente nesse tratamento.

O alumínio por sua vez pode ser benéfico apenas em casos muito específicos e em quantidades ínfimas, pois normalmente traz danos ao sistema radicular, causando atrofia e deformações nas raízes. Taiz et al. (2017) alegam que o alumínio pode formar complexos inorgânicos com íons fosfatos, indisponibilizando o macronutriente para a cultura. Quanto a solubilidade do Al no solo, Miguel et al. (2010) aborda que atinge níveis maiores em situações que o pH é inferior a 5,5 ou superior a 7,0. Sendo assim, a utilização de fontes mais solúveis de fósforo em solos com pH inferior a 5,5 pode resultar na formação desses complexos insolúveis, e indisponibilizar o macronutriente que seria requerido ao longo do ciclo da cultura.

Os tratamentos FM e FOM em dose de 70% performaram de maneira análoga em termos de rendimento de matéria seca, com valores de 75,2 e 79,4 g UE^{-1}, respectivamente. Destaca-se o tratamento com FOM com 100% da recomendação de adubação, com rendimento de matéria seca de 90,8 g UE^{-1}, sendo superior ao tratamento com adubação mineral. Dois fatores podem estar relacionados: a liberação gradual do fósforo presente na BG do FOM; e a presença de macronutrientes secundários (S, Ca e Mg), micronutrientes (B, Zn, Mn, Fe) e silício (nutriente não essencial) na BG. Em relação aos macronutrientes secundários, é valido destacar que a presença de gesso agrícola ($CaSO_4$) libera enxofre e cálcio, aumentando a saturação por bases na CTC, e consequentemente reduzindo a saturação por alumínio na CTC. Tal efeito ocorre devido a ocupação dos sítios no complexo coloidal (anteriormente ocupados pelo alumínio) pelos íons de cálcio, e pela formação de complexos solúveis entre o alumínio e o sulfato que serão carreados para as camadas mais profundas do solo (Horowitz et al., 2017). Concluindo-se que a presença do gesso agrícola no FOM atuou mitigando possíveis danos por alumínio nas estruturas vegetais do capim sudão.

Outro importante fator é presença do silício na composição do FOM, adicionado por meio do pó de rocha. Fisiologicamente, o silício atua na estrutura da célula, podendo torná-la mais resistente ao acamamento, infecções por doenças, estresses hídricos e toxicidade por metais como o alumínio. O efeito tóxico é amenizado devido a uma série de reações desencadeadas pelo silício no metabolismo vegetal, a saber: retenção desses componentes tóxicos; acionamento do sistema de defesa da planta. (Chen et al., 2019). Portanto, a presença do silício em ambos os tratamentos com FOM foi de relevância significativa para atingir tais níveis de produção num ambiente com presença relativamente alta de alumínio.

A aplicação de FOM na dose de 100% apresentou eficiência agronômica superior ao tratamento FM, com valor de147% (Tabela 8). Na dose de 70% da recomendação, a eficiência agronômica do FOM foi equivalente à aplicação de 100% de FM. Chen et al. (2019) atribuem a solubilidade do fertilizante em água como um dos fatores influentes no índice de eficiência agronômica, permitindo interpretar a menor solubilidade em água dos nutrientes presentes no FOM como um fator positivo, visto que a liberação dos nutrientes para a cultura ocorrerá de maneira gradativa.

Portanto, essa dinâmica de liberação dos nutrientes do FOM mitigou o efeito de adsorção dos nutrientes, pela fração coloidal do solo e elevou a disponibilidade destes para a cultura. Posto isso, justifica-se o melhor aproveitamento dos nutrientes com o FOM, gerando eficiência agronômica superior em função da produção mais expressiva de massa seca de parte aérea com a mesma quantidade de N, P e K.

Tabela 8. Índice de eficiência agronômica (IEA) dos tipos e doses de fertilizantes aplicadas no capim sudão

Tratamentos	IEA (%)
FM[(1)]	100 b[(3)]
FOM[(2)] em dose 100%	147 a
FOM em dose 70%	108 b

[(1)] FM: Fertilizante mineral. [(2)]FOM: Fertilizante organomineral [(3)]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Elaborada pelos autores.

4. Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o fertilizante organomineral produzido com a tecnologia EXES+ apresentou maior eficiência agronômica em comparação ao fertilizante mineral, mesmo quando utilizados na mesma dose de NPK. Esse desempenho superior indica um melhor aproveitamento dos nutrientes disponibilizados pelo fertilizante organomineral, contribuindo para o desenvolvimento do Capim-Sudão de maneira mais eficiente.

Além disso, observou-se que a aplicação do fertilizante organomineral na dosagem de 70% da recomendação de NPK resultou em uma eficiência agronômica similar àquela obtida com 100% da recomendação utilizando fertilizante mineral. Esse achado reforça a viabilidade do uso de fertilizantes organominerais como uma alternativa sustentável, reduzindo a necessidade de aplicação de altas doses de fertilizantes minerais, sem comprometer a produtividade da cultura.

E inclusive, a tecnologia EXES+ pode contribuir para a redução da dependência brasileira de insumos importados, alinhando-se às diretrizes do Plano Nacional de Fertilizantes 2050. A adoção de fertilizantes organominerais não apenas melhora a eficiência no uso dos nutrientes, mas também favorece práticas agrícolas mais sustentáveis, impulsionando a competitividade da produção nacional e fortalecendo a segurança alimentar.

Umas das limitações deste estudo foi a condução do experimento em ambiente controlado de casa de vegetação, o que pode não refletir completamente as condições de campo, onde fatores como variabilidade do solo, clima e manejo podem influenciar a eficiência dos fertilizantes. Além disso, o período de avaliação foi relativamente curto, restringindo a análise dos efeitos dos fertilizantes organominerais a longo prazo na cultura do Capim-Sudão.

Para aprofundar o conhecimento sobre a eficiência agronômica dos fertilizantes organominerais, estudos futuros podem avaliar seu desempenho em diferentes tipos de solo e condições climáticas, bem como sua influência na microbiota do solo e na absorção de nutrientes pela planta. Além disso, pesquisas de longo prazo podem investigar os impactos desses fertilizantes na sustentabilidade da produção agrícola, analisando sua viabilidade econômica e ambiental em sistemas de cultivo diversificados.

5. Referências Bibliográficas

ALVARES, A. C.; STAPE, J.; SENTELHAS, P.; GONÇALVES, J.; SPAROVEK, G. K. Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

BENITES, V. de M.; CORREA, J.C.; MENEZES, J.F.S.; POLIDORO, J.C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZA, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro**, p. 1-5, 2010.

CHEN, D.; CHEN, D.; XUE, R.; LONG, J; LIN, X.; LIN, Y.; JIA, L.; ZENG, R.; SONG, Y. Effects of boron, silicon and their interactions on cadmium accumulation and toxicity in rice plants**. Journal of hazardous materials**, v. 367, p. 447-455, 2019.

DIAS, J. C. **Raízes da Fertilidade.** São Paulo: Calandra Editorial, 2005.

EMBRAPA. Estruturação do mercado de sementes de forrageiras, Capim-Sudão BRS Estribo: recomendações de manejo e oportunidades na cadeia produtiva da ovinocultura. **Revista do Produtor**, v. 6, n. 7, p. 1-22, 2014.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. **Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria prima**. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, IPNI, p. 73-107, 2007.

FARIAS, P. I. V.; FREIRE, E.; CUNHA, A. L. C.; POLIDORO, J. C.; ANTUNES, A. M. S. Input assurance for Brazilian food production. **Fertilizer Focus**, v. 38, n. 1, p. 52-54, 2021.

HOROWITZ, N.; BLEY, H.; CORREA, J. **Corretivos e Fertilizantes Minerais.** 11. ed. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2016.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010.

QUARTUCCI, J. P. **Análise da competitividade do cluster da indústria de fertilizantes da Região Metropolitana de Salvador**. Universidade Federal da Bahia. Dissertação. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

ZAGO, C. P. **Manejo cultural do sorgo para forragem.** Sete Lagoas: Embrapa, 1997.