

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

GABRIELLA BRAGA ROCHA E OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES CO-
PASTILHADOS CONTENDO BORO E ZINCO**

VIÇOSA-MINAS GERAIS

2017

GABRIELLA BRAGA ROCHA E OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES CO-
PASTILHADOS CONTENDO BORO E ZINCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte
das exigências para a obtenção do título de
Engenheira Agrônoma. **Modalidade:** Traba-
lho Científico

Orientador: Edson Márcio Mattiello

Coorientadores: Leonardus Vergutz e
Wedisson Oliveira Santos

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

GABRIELLA BRAGA ROCHA E OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES CO-
PASTILHADOS CONTENDO BORO E ZINCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal de Viçosa como
parte das exigências para a obtenção do tí-
tulo de Engenheira Agrônoma. **Modali-
dade:** Trabalho Científico

APROVADO EM:

Prof. Edson Marcio Mattiello

Departamento de Solos

Universidade Federal de Viçosa

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu forças para continuar lutando e correndo atrás dos meus sonhos e por ter me ajudado a estudar na Universidade Federal de Viçosa.

Aos meus familiares, principalmente meus pais, Márcio e Iêda, que sempre estiveram do meu lado, torcendo pelo meu sucesso, me dando conselhos, me ajudando a levantar em dias difíceis fazendo com que eu nunca desistisse dos meus sonhos, dedico toda a glória das conquistas nestes anos de muito estudo.

Aos meus professores da graduação que sempre estavam dispostos a ajudar, principalmente do Departamento de Solos, que convivi durante 4 anos. Agradeço diretamente ao meu Orientador Edson Marcio Mattiello que me acolheu caloura e me fez crescer a cada ano com os seus conselhos, pela amizade e formação profissional. Não tenho palavras para agradecer ao Wedisson por todo apoio, amizade, por sempre estar disposto a ajudar até mesmo longe. Ao Odirley, que convivi muitos anos da minha iniciação científica e que ainda se preocupa em me ajudar.

A Isabela, Priscila e as Colombianas que me ajudaram durante o experimento. A Fabiane e Adriana que sempre me apoiou e tornou o dia no laboratório mais divertido. À Produção química pela disponibilidade dos Fertilizantes utilizados.

A empresa júnior de Agronomia. Agroplan, por ter me proporcionado um crescimento profissional em gestão empresarial que fugiu um pouco do que eu estava inteirada, pesquisa.

Aos meus amigos, que me ajudaram e me apoiaram em momentos difíceis. Ao Caique, sempre esteve do meu lado, me acalmando, me dando conselhos, por todo carinho e amor. Ao Guilherme, meu braço direito em minha graduação, sempre torcendo para o meu sucesso.

RESUMO

A produção de fertilizantes contendo S^o associado às fontes de micronutrientes de baixa reatividade como o óxidos de Zn e a Ulexita, poderá ser uma alternativa vantajosa no fornecimento desses nutrientes de forma mais lenta que as fontes tradicionais, de alta solubilidade, podendo proporcionar maior eficiência das fertilizações e efeito residual. O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência agronômica de fontes de Zn e B, solúveis e de baixa solubilidade, em cultivo de milho conduzido em condições de casa de vegetação. Foram realizados dois ensaios seguindo o esquema fatorial 2 x (3 x 3+1), sendo para o B, dois solos de texturas contrastantes (arenoso e argiloso), três fontes do elemento, [ácido bórico (H₃BO₃), ulexita (UL) e sulfurgran B-max 2% (BP)], três doses de B (0,5; 1; 2 mg/dm³ de B) e um tratamento controle negativo, sem aplicação de B. No segundo ensaio, com fontes de Zn, utilizou-se o mesmo arranjo experimental, sendo dois solos (arenoso e argiloso), três fontes de Zn [sulfato de Zn (ZnSO₄), óxido de Zn (ZnO) e sulfurgran Zn-Max (ZnP)], três doses de Zn (1,5; 3 e 6 mg/dm³ de Zn) e um tratamento controle negativo, sem a aplicação de Zn. A parte aérea das plantas de milho foi colhida aos 30 d após o plantio, para determinação da produção de matéria seca e concentrações de Zn e B (ICP-OES) em extrato da mineralização nítrico-perclórica (3/1 v/v). O acúmulo de B foi maior quanto a ulexita foi utilizada como fonte do nutriente, sendo essa diferença mais expressiva em solo arenoso. O fertilizante Sulfurgran B-max apresentou performance equiparável ao ácido bórico, porém inferior a ulexita pura. Entre as fontes de Zn, apenas o Sulfato de Zn foi efetivo. O estudo não mostrou evidências de qualquer efeito do ZnP e ZnO, em termos de aumento da produção de MS pelo milho ou acumulação de Zn. Principalmente para as fontes insolúveis de Zn, há a necessidade de estudos de maior duração, a fim de detectar a partir de quando passam a ser importantes no suprimento de nutrientes para as plantas, incluindo medições de disponibilidade no solo.

Palavras chave: Enxofre elementar, sulfato de zinco, ZnO e ulexita.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3 RESULTADOS	13
Ensaio 1 – Boro	13
Ensaio 2 - Zinco.....	17
4 DISCUSSÃO.....	19
Ensaio 1 – Boro	19
Ensaio 2 – Zinco	21
5 CONCLUSÕES.....	22
6 REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

Elevar a produtividade é um desafio frequente na agricultura brasileira, principalmente devido à baixa fertilidade natural dos solos que ocupam grandes extensões de áreas agricultáveis no país. Neste contexto, a adubação, incluindo com os micronutrientes Zn e B, é imprescindível para se alcançar elevadas produtividades agrícolas (Kirkby & Römheld, 2007).

A maioria dos micronutrientes atua como ativador ou cofator enzimático, sendo requeridos pelas plantas em pequenas quantidades em comparação com os macronutrientes. Devido a isso, esses nutrientes têm sido em muitos casos ignorados nas recomendações de adubação, limitando a produtividade das culturas. Frequentes observações de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes refletem a diminuição das reservas do solo ao longo dos anos de cultivo, consequência da maior exportação nas colheitas e, ou perdas (Rutkowska B. et al., 2014).

A disponibilidade de micronutriente para as plantas depende da interação desses elementos com a fração sólida do solo, das concentrações na solução do solo, e dos fatores que afetam o equilíbrio entre essas duas formas. Segundo Consolini & Coutinho (2004), a disponibilidade de micronutrientes como o Zn é afetada por diversas reações que podem ocorrer no solo, incluindo hidrólises em pH elevados, reações de precipitação com fosfatos ou complexação pela matéria orgânica do solo, e a quimiosorção em oxidróxidos de Fe e Al, principalmente.

A eficiência das fertilizações com micronutriente é muito dependente da forma de aplicação e fonte utilizada. O fornecimento de Zn ou B de fontes solúveis, pode promover baixa disponibilidade do nutriente ao longo do tempo devido às reações mencionadas acima para o Zn, principalmente em solo argiloso oxidico ou a lixiviação de B em solos mais arenosos.

A adubação uniforme com micronutriente é difícil, pois as doses recomendadas são muito baixas. Por conta disso, é comum o fornecimento desses nutrientes em formulações como NPK + micro, ou com outras fontes de macronutrientes (Uréia + micro), que geralmente são incompatíveis quimicamente (Fien Degryse & Roslyn Baird & Mike J. McLaughlin 2014), levando às reações que indispõem o nutriente, destacando hidrólises e precipitação como fosfatos (Hettiarachchi et al., 2010).

O Enxofre elementar (S⁰) tem sido usado recentemente em diversos processos de produção de fertilizantes, tais como, no revestimento da ureia, do superfostato triplo, do fosfato

monoamônio e do cloreto de potássio. Também estão em avaliação e desenvolvimento fertilizantes oriundos da mistura, na forma de pastilhas, de óxidos de Cu, Mn, Zn ou B com S elementar (Santos et al, 2017). Esses produtos apresentam como vantagens a maior concentração de nutrientes e o baixo custo de produção comparados às fontes tradicionais de micronutrientes. A oxidação do S no solo e conseqüente redução do pH em torno da pastilha (Horowitz, 2003), poderá acelerar a solubilização de óxido de Zn, aumentando a absorção deste nutriente pelas plantas. Dessa forma, esses produtos poderão constituir uma nova forma de fornecimento eficiente de nutrientes para as plantas.

A taxa de oxidação do S⁰ é um fator chave para sua eficiência como fertilizante. Embora seja indisponível para as plantas, o S⁰ quando oxidado no solo para S-sulfato ficará disponível. Esta oxidação é um processo aeróbico, intermediado por microrganismos e gerador de acidez (Horowitz & Meurer, 2005).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a performance agrônômica de fontes de Zn e B, solúveis e de baixa solubilidade, em cultivo de milho conduzido em condições de casa de vegetação. O experimento também visa dar suporte ao registro desses fertilizantes no Ministério da Agricultura e Abastecimento, em parceria com a empresa Produquímica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido nas dependências do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se dois solos: Latossolo Vermelho-Amarelo de textura Arenosa (14 % de argila) e um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura Argilosa (46 % de argila), coletados da camada 0 – 20 cm, destorroados, passados em peneira com malha de 4 mm para o cultivo e em malha de 2 mm para a caracterização física e química. O resultado de análise química está apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1 Características químicas dos solos após a calagem

Solo	pH	Zn	B	S	t	T	M.O	P-rem
	(<i>H₂O</i>)	-----mg/dm ³ -----			-----cmolc/ dm ³ -----		dag/ kg	mg/L ¹
Arenoso	6,15	0,94	0,20	1,7	0,77	3,17	0,77	27,0
Argiloso	6,30	1,00	0,13	3,3	1,33	4,93	1,00	8,9

M.O= teor de matéria orgânica do solo. B = Boro disponível (água quente), t = CTC efetiva (Σ Ca, Mg, K, Na e Al), T= CTC pH 7.0 (Σ Ca, Mg, K, Na e H+Al). S disponível em fosfato monocálcico. Zn disponível (DTPA).

Os solos foram incubados com CaCO₃:MgCO₃ na proporção 4:1, por 15 (d), com umidade próxima à capacidade de campo para elevar a saturação por bases a 60%. Após o tempo de incubação da calagem foi adicionado 150 e 300 mg dm⁻³ de P, na forma de superfosfato triplo (ST), em todo volume do solo arenoso e argiloso, respectivamente e devidamente acomodados em vasos plásticos de 4 dm³.

Foram realizados dois ensaios seguindo o esquema fatorial 2 x (3 x 3+1), sendo para o B, dois solos de texturas contrastantes (arenoso e argiloso), três fontes do elemento: ácido bórico (H₃BO₃), ulexita (UL) e sulfurgran B-max 2% (BP), três doses de B (0,5; 1; 2 mg/dm³ de B) e um tratamento controle negativo, sem aplicação de B. No segundo ensaio, com fonte de Zn, utilizando mesmo arranjo experimental, estudou-se o efeito de dois solos (arenoso e argiloso), três fontes de Zn: sulfato de zinco (ZnSO₄), óxido de zinco (ZnO) e sulfurgran Zn-Max (ZnP), três doses de Zn (1,5; 3 e 6 mg/dm³ de Zn) e um tratamento controle negativo, sem aplicação de Zn. Ambos os experimentos foram distribuídos em blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 80 parcelas experimentais para cada um deles.

A ulexita é um borato natural de Na e Ca, insolúvel em água, que quanto pura apresenta cerca de 13% m/m de B. O ácido bórico é obtido principalmente da solubilização da colemanita e ulexita com o uso do ácido sulfúrico ou ácido clorídrico.

O sulfato de zinco representa a principal fonte solúvel do elemento utilizada como fertilizante sólido. Essa fonte é obtida principalmente por meio da solubilização do óxido de Zn pelo ácido sulfúrico. Já o óxido de zinco, com teores do elemento de até 75%, é pouco solúvel em água com pH próximo a 7. Sulfurgran Zn-max e Sulfurgran B-max 2% são fertilizantes co-pastilhados produzidos pela Produquímica, resultantes da mistura do ZnO com S, e da ulexita com S, respectivamente. Os teores de nutrientes nesses fertilizantes são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Teor total de nutrientes nos fertilizantes

Fertilizante	Nutriente		
	S	B	Zn
	-----%, m/m-----		

Sulfurgran Zn-max*	79	-	5
Sulfurgran B-max 2%**	77	2	-
Óxido de zinco	-	-	75
Sulfato de zinco	10	-	20
Ulexita	-	10	-

*Sulfurgran Zn-max, é um fertilizante pastilhado composto por S⁰, ZnO e bentonita (10% m/m). O Sulfurgran B-max 2%** , é um fertilizante co-pastilhados composto por S⁰, ulexita e bentonita (10% m/m). Ulexita, (Na-CaB₅O₆(OH)₆.5H₂O).

O plantio do milho híbrido da Biomatrix BMB 20 foi feito no dia 03 de março, juntamente com as adubações supracitadas, com cinco sementes por vaso (**Figura 1**), mantendo-se após desbaste três plantas por vaso. A reposição de água foi feita diariamente de modo a manter a umidade do solo entre 80 e 100 % da capacidade de campo. As adubações de cobertura foi dividida em três partes, realizadas 8, 18 e 25 d após o plantio sendo 20, 40 e 40% das doses respectivamente: 200,0 mg dm⁻³ de N (ureia e sulfato de amônio) ; 150,0 mg dm⁻³ de K (KCl); 40,0 mg dm⁻³ de S (sulfato de Amônio) ; 3,0 mg dm⁻³ de Zn (ZnSO₄ 7H₂O-exceto para o ensaio com Zn) ; 2,0 mg dm⁻³ de B (H₃BO₃- exceto para o ensaio com B); 1,33 mg dm⁻³ de Cu (CuCl₂.2H₂O); 1,55 mg dm⁻³ de Fe (FeCl₃.6H₂O) ; 3,66 mg dm⁻³ de Mn (MnCl₂.4H₂O) , 0,15 mg dm⁻³ de Mo ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O) (**Figura 1**).



Figura 1. Fotos mostrando detalhes do plantio do milho, considerando a localização das sementes (a), e a adubação líquida de cobertura (b).

As plantas foram colhidas 30 d após o plantio, cortando-se na região do colo. A parte aérea foi levada à estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h. Em seguida, o material foi pesado para determinação da matéria seca (MS) e passado em moinho tipo Wiley para análises nos teores de nutrientes extraídos pela planta.

O material vegetal foi mineralizado por digestão nítrico-perclórica (3:1 v/v) e, sendo nos extratos, feita a dosagem de Zn e B por espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

As taxas de recuperação (TR) de Zn e B foram calculadas de acordo com a **Eq. 1**.

$$TR (\%) = (CNF - CNC) / (QNA) \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo,

CNF, o conteúdo do nutriente quando o fertilizante foi aplicado (mg/vaso);

CNC, o conteúdo do nutriente no tratamento controle, sem aplicação (mg/vaso);

QNA, a quantidade de nutriente adicionada (mg/vaso).

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos das doses de Zn e B analisadas por análise de regressão, e os fertilizantes comparados por meio do teste tukey ($p=0,05$).

3 RESULTADOS

Ensaio 1 – Boro

Houve diferença entre os solos para a produção de matéria seca, teor e conteúdo de B e taxas de recuperação desse nutriente (**Tabela 3. A**). Para a produção de matéria seca, observou-se que no solo argiloso o milho produziu cerca de 23% a mais (**Tabela 3 A**).

Verificou-se que tanto para o teor de B, quanto para seu conteúdo, em solo arenoso, esses valores foram superiores, com diferenças mais expressivas. De fato, o teor e conteúdo de B foi cerca de 2,5 e 2,1 vezes maior, respectivamente, quando o milho foi cultivado em solo arenoso (**Tabela 3 B e C**). Curiosamente, a Ulexita promoveu maior acúmulo de B pelo milho. Em comparação com o ácido bórico (fonte solúvel), a Ulexita promoveu teor e conteúdo de B cerca de 30 e 25% maiores, respectivamente (**Tabela 3 B e C**).

A taxa de recuperação (TR) de B pela planta foi maior em solo arenoso, cerca de 2,7 vezes maior que para o solo argiloso. Porém não houve efeito das fontes de B sobre a taxa de recuperação do elemento para ambos os solos (**Tabela 3 D**).

Tabela 3: Produção de matéria seca, teor e conteúdo de B, e taxa de recuperação do elemento em cultivo de milho como função de solos de contrastantes texturas, fontes e dose de B

Dose (mg/dm ³)	Solo argiloso			Solo arenoso		
	H ₃ BO ₃	UL	BP	H ₃ BO ₃	Ulexita	BP
A) -----Matéria seca de parte aérea (g/vaso)-----						
0		42,34			34,34	
0.5	46,03	44,24	41,44	29,41	30,36	32,12
1	41,65	41,56	39,34	31,23	35,31	33,43
2	41,71	38,54	43,96	32,59	30,88	31,83
<i>Média Fontes</i>	43,13 a	41,45 a	41,58 a	31,08 a	32,18 a	32,46 a
<i>Média Solo</i>		42,08***			32,15	
B) -----Teor de B (mg/kg)-----						
0		7,04			9,59	
0.5	13,47	8,91	10,84	17,60	24,71	21,86
1	13,80	12,38	15,96	26,91	43,50	27,99
2	17,26	21,48	16,74	53,22	71,99	35,81
<i>Média Fontes</i>	14,97 a	14,26 a	14,85 a	32,58 b	46,73 a	28,56 b
<i>Média solo</i>		13,87***			33,93	
C) -----Conteúdo de B (mg/vaso)-----						
0		0,25			0,33	
0.5	0,61	0,43	0,51	0,90	0,75	0,76
1	0,58	0,52	0,62	0,84	1,45	0,94
2	0,72	0,87	0,70	1,80	2,49	1,55
<i>Média Fontes</i>	0,64 a	0,61 a	0,62 a	1,18 ab	1,56 a	1,08 b
<i>Média solo</i>		0,58***			1,20	
D) -----Taxa de recuperação de B pela planta (%)-----						
0.5	13,53	9,01	9,87	31,43	23,77	24,55
1	8,13	6,95	9,35	14,32	29,56	16,64
2	5,95	7,80	5,61	19,08	27,75	15,94
<i>Média Fontes</i>	9,20 a	7,92 a	8,28 a	21,61 a	27,03 a	19,04 a
<i>Média solo</i>		7,62***			20,30	

Médias acompanhadas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. UL: Ulexita; BP: B copastilhado. ns, ***, indicam efeito não significativo e significativo a 0,1%, entre solos, pelo teste F, respectivamente.

A falta de ajuste de modelos de regressão sugere que a produção de matéria seca não é uma característica sensível para a avaliação da disponibilidade de micronutrientes, como o B. Não houve efeito de doses de B para as diferentes fontes utilizadas na produção de MS pelo milho, em ambos os solos, até a dose máxima de 2 mg/dm³ (**Figura 2**).

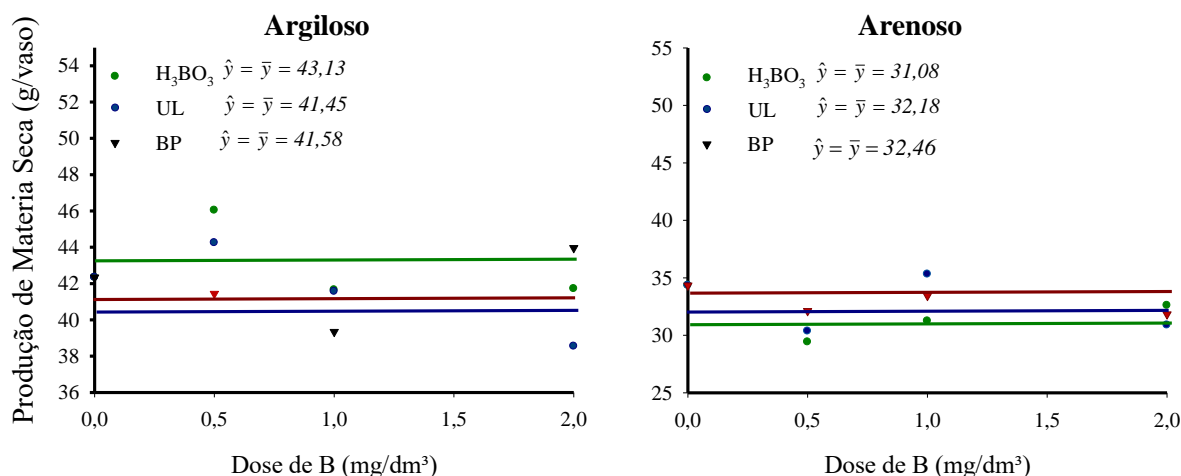


Figura 2. Produção de matéria seca pelo milho em função de dose de B, de diferentes fontes do elemento, em solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). UL: Ulexita; BP: B co-pastilhado.

O aumento nas doses de B, para as diferentes fontes do nutriente, em ambos os solos, promoveu aumento linear dos teores do elemento nos tecidos da parte aérea do milho (**Figura 3**). Em solo argiloso, as inclinações das retas indicam que a ulexita foi mais efetiva no aumento dos teores de B ao longo das doses, seguida pelo ácido bórico e o BP. Já para o solo arenoso, as fontes apresentaram a mesma ordem de eficiência, em termos de taxas de aumento em função de doses, entretanto em comparação com o solo argiloso, essas foram até 4 vezes maiores, por exemplo para a ulexita.

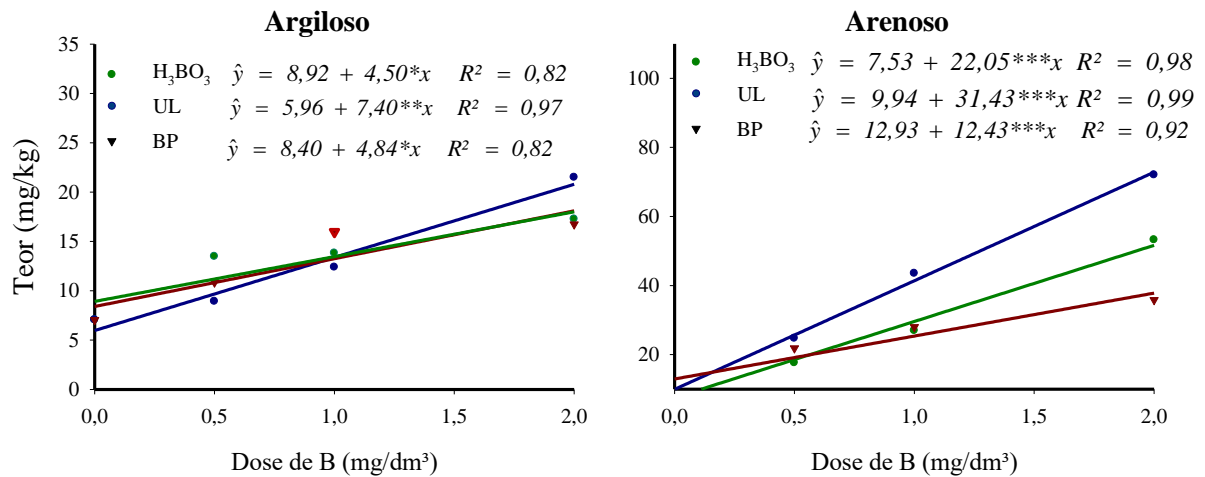


Figura 3. Teor de B em planta de milho em função de doses do elemento de diferentes fontes, em solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). UL: Ulexita; BP: B co-pastilhado; H_3BO_3 Ácido bórico. *, ** e *** indicam efeito significativo pelo teste t a 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

O acúmulo de B na parte aérea do milho, como função de fontes, doses e solos, apresentou diferentes tendências (**Figura 4**). Em solo argiloso, apenas a ulexita foi efetiva no aumento do teor do nutriente com o aumento da dose. Já para o solo arenoso, todas as fontes promoveram aumento linear do conteúdo de B com o aumento da dose, sendo a ulexita mais eficiente.

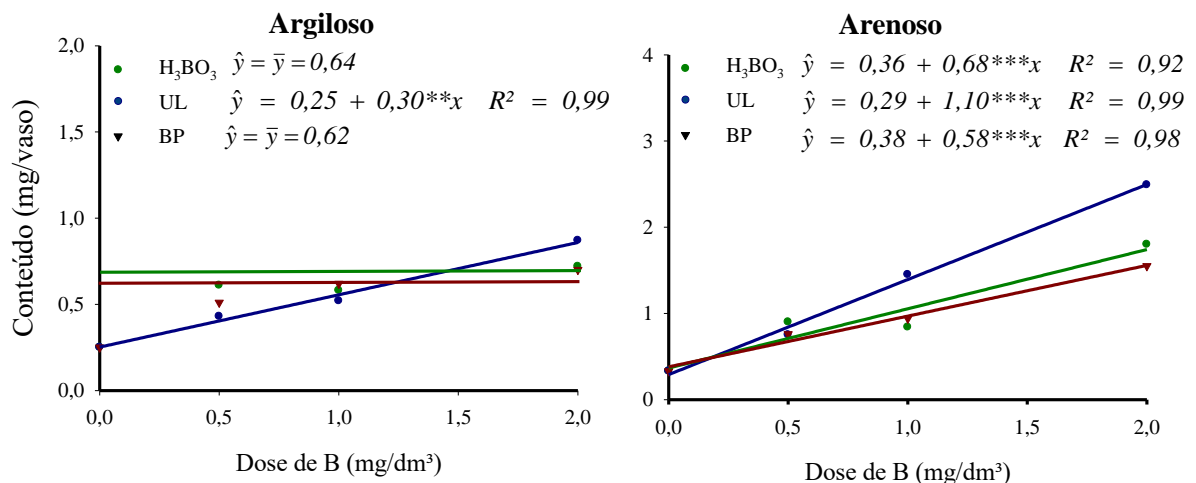


Figura 4. Acúmulo de B na parte aérea do milho em função de doses do elemento, de diferentes fontes, em solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). UL: Ulexita; BP: B co-pastilhado. ** e *** indicam efeito significativo pelo teste t a 1 e 0,1%, respectivamente.

Ensaio 2 - Zinco

Houve diferença entre as performances dos fertilizantes entre e dentro de cada tipo de solo (**Tabela 4**). A produção de MS pelo milho foi maior (cerca de 22%) em solo argiloso, entretanto para ambos os solos não percebeu-se evidências estatísticas suficientes para diferenciar os efeitos das fontes de Zn. Por outro lado, o teor, conteúdo e taxa de recuperação de Zn, em ambos os solos foram maiores quando o sulfato de zinco foi utilizado como fonte. Essas diferenças foram mais expressivas para as taxas de recuperação de Zn, que foi cerca de 6 vezes maior quanto do uso do sulfato de zinco em relação às demais fontes (**Tabela 4**).

Tabela 4: Produção de matéria seca, teor e conteúdo de Zn e taxa de recuperação do elemento pelo milho em função de tipos de solo e fontes do nutriente

Dose (mg/dm ³)	Solo argiloso			Solo arenoso		
	ZnSO ₄	ZnO	ZnP	ZnSO ₄	ZnO	ZnP
A) -----Matéria seca de parte aérea (g/vaso)-----						
0		46,52			36,34	
1,5	43,12	41,54	36,53	35,03	33,04	28,87
3	45,27	42,03	38,42	33,78	29,72	32,05
6	43,24	39,09	44,40	33,65	30,12	34,13
<i>Média Fontes</i>	43,88 a	40,89 a	39,79 a	34,15 a	30,96 a	31,68 a
<i>Média solo</i>	42,02 ***			32,67		
B) -----Teor de Zn (mg/kg)-----						
0		10,87			9,27	
1,5	17,43	11,94	10,71	16,70	10,29	12,43
3	21,82	13,69	9,81	21,91	13,58	13,27
6	38,23	10,34	8,79	41,57	9,77	9,13
<i>Média Fontes</i>	25,82 a	11,99 b	9,76 b	26,72 a	11,21 b	11,61 b
<i>Média solo</i>	15,36 ns			15,79		
C) -----Conteúdo de Zn (mg/vaso)-----						
0		0,46			0,32	
1,5	0,75	0,50	0,46	0,58	0,34	0,33
3	0,99	0,58	0,57	0,74	0,41	0,43
6	1,63	0,41	0,51	1,46	0,30	0,32
<i>Média Fontes</i>	1,12 a	0,49 b	0,51 b	0,92 a	0,34 b	0,35 b
<i>Média solo</i>	0,68 ***			0,52		
D) -----Taxa de recuperação de Zn pela planta (%)-----						
1,5	4,86	0,75	1,21	4,35	0,72	1,00
3	4,39	1,02	1,63	3,47	0,96	1,00
6	4,90	0,50	0,64	4,74	0,10	0,17
<i>Média Fontes</i>	4,71 a	0,75 b	1,16 b	4,18 a	0,59 b	0,72 b
<i>Média solo</i>	1,94 ns			1,65		

Médias acompanhadas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ZnO: Óxido de Zinco; ZnP: Zn co-pastilhado; ZnSO₄ Sulfato de zinco. ns, ***, indicam efeito não significativo e significativo a 0,1%, entre solos, pelo teste F, respectivamente.

Assim como para o B, a produção de MS pelo milho não foi afetada pelo aumento das doses de Zn (**Figura 5**).

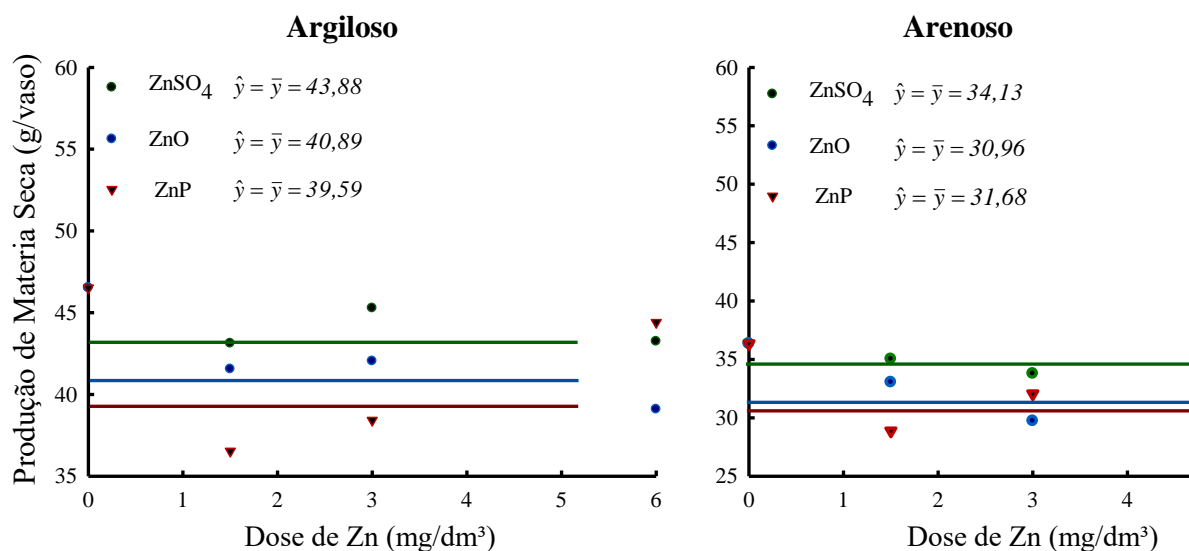


Figura 5. Produção de matéria seca pelo milho em função de dose de Zn de diferentes fontes do elemento em solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). ZnO: Oxido de Zinco; ZnP: Zn co-pastilhado; ZnSO₄ Sulfato de zinco.

O teor e conteúdo de Zn na planta em função de doses, fontes do elemento e tipo de solo, apresentou diferentes tendências, sendo apenas o Sulfato de Zn capaz de aumentar de forma linear essas variáveis com o aumento da dose do fertilizante (**Figuras 6 e 7**).

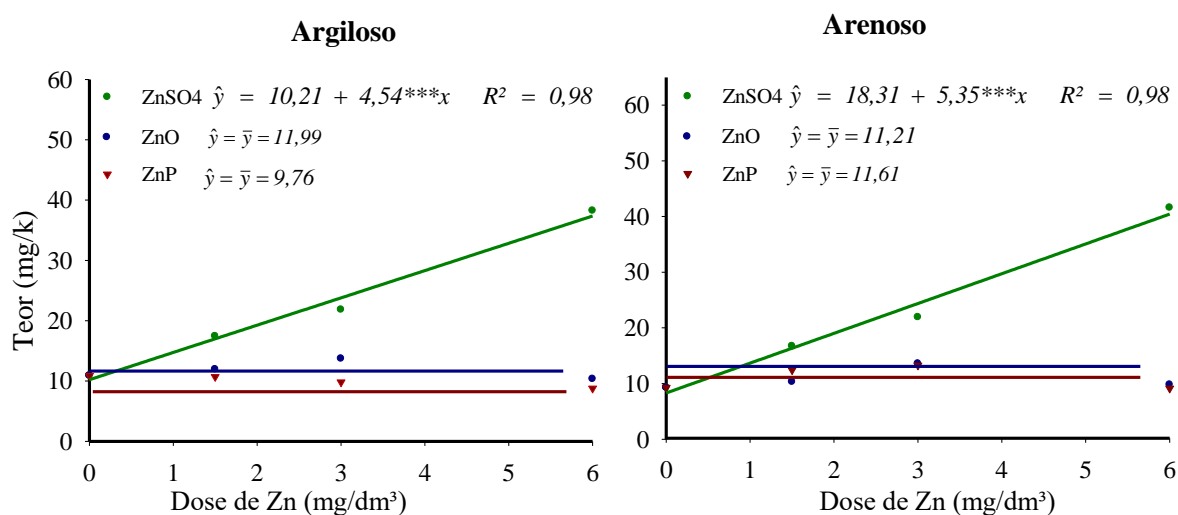


Figura 6 Teor de Zn na planta de milho em função de doses do elemento de diferentes fontes em solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). ZnO: Óxido de Zinco; ZnP: Zn copastilhado; ZnSO₄ Sulfato de zinco. *** indica efeito significativo pelo teste t a 0,1%.

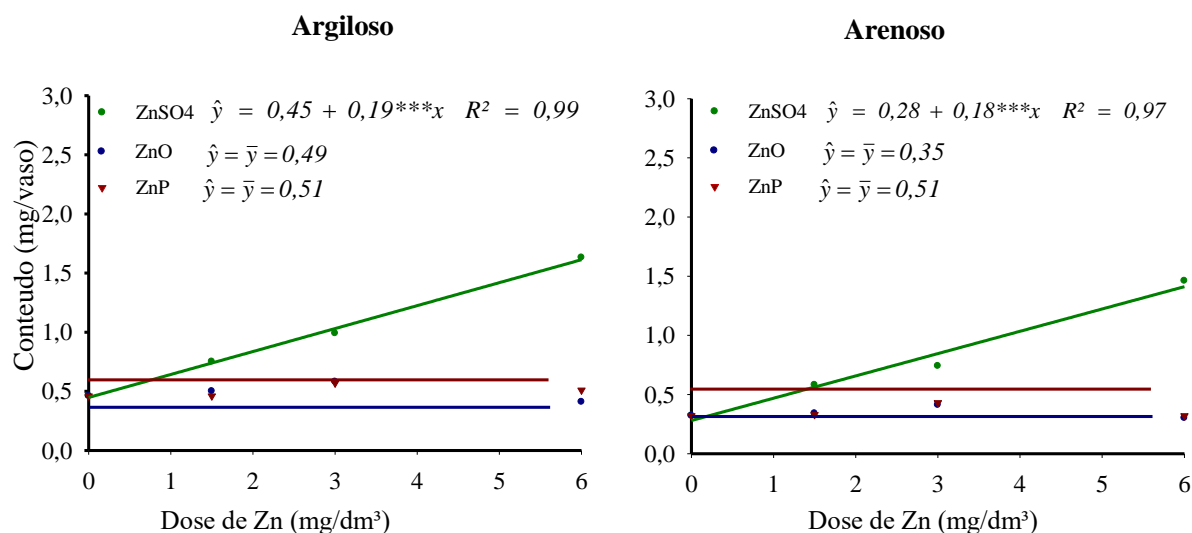


Figura 7. Acúmulo de B pelo milho em função de doses do elemento em diferentes fontes com solos de contrastantes texturas (argiloso e arenoso). ZnO: Óxido de Zinco; ZnP: Zn copastilhado; ZnSO₄ Sulfato de zinco. *** indica efeito significativo pelo teste t a 0,1%.

4 DISCUSSÃO

Ensaio 1 – Boro

A produção de matéria seca mostrou-se não ser uma variável recomendada para avaliar a performance agronomica de fertilizantes ricos em B, já que aumentos do seu teor ou conteúdo na MS da parte aérea do milho, não implicaram em aumento de MS até a dose máxima estudada (2 mg/dm³). Em cultivo de laranja Bologna (2003), observou diferentes performances entre fontes de B, em termos de teores foliares, mas nenhuma diferença foi observada para produtividade ou rendimento de suco.

A maior produção de MS em solo argiloso, deve ao fato de esse tipo de solo reunir propriedades mais favoráveis ao crescimento de plantas, como a maior fertilidade e maior capacidade tampão de nutrientes, mantendo menores concentrações em solução. Com isso, em solo argiloso, os teores de B em solução podem ter sido menores, diminuindo a possibilidade

de toxidez. Salvador (2003) concluiu que o aumento da dose de B em mudas de goiabeira diminui o teor foliar de P e S, diminuindo o crescimento da planta. Lima (2007), diagnosticou teores tóxicos de B na matéria seca da parte aérea do milho variando de 43,3 até 372, 2 mg/kg. Para este estudo, em solo arenoso na dose máxima de B (2 mg/kg), a concentração de B na matéria seca da parte aérea do milho atingiu 72 mg/kg.

O Sulfurgran B-max foi tão efetivo quanto o ácido bórico no aumento no teor ou conteúdo de B como função do aumento da dose do nutriente. Esse resultado pode indicar que ocorre solubilização da ulexita no solo, quando associada ao S⁰, mas não necessariamente devido ao S elementar. De fato, a ulexita pura foi mais efetiva, demonstrando a independência do S elementar para que ocorra sua solubilização no solo. Para a granulação da ulexita utiliza-se o ácido sulfúrico como agente aglutinante/endurecedor, com isso a reatividade do mineral é elevada sobremaneira, chegando a ser 90% solúvel em água (Bologna, 2003). Independentemente da acidificação provocada, a solubilização da ulexita pura no solo tem sido sugerida por esse autor. Após seis meses da fertilização com B, a ulexita em pó foi tão efetiva quanto o ácido bórico na elevação dos teores foliares do elemento. E curiosamente, quando granulada (acidificada), foi menos efetiva. A performance inferior da ulexita granulada foi atribuída a sua menor superfície específica devido à granulação, comparada com a ulexita em pó.

Fontes de B que possam liberar o nutriente mais lentamente que o ácido bórico no solo é desejável, pois o intervalo entre concentrações ótimas e tóxicas desse elemento é estreito, possibilitando elevado potencial de toxidez quando fornecido em doses elevadas. Por outro lado, como o B é absorvido principalmente como H₃BO₃, essa forma no solo é altamente susceptível às perdas por lixiviação. Assim, o uso de fontes menos solúveis pode implicar em maior eficiência de aplicação do nutriente.

A superioridade da ulexita comparado ao ácido bórico e ao Sulfurgran B-max, não era esperada já que em uma cultura de ciclo curto geralmente as fontes mais solúveis são mais eficientes, no caso, o ácido bórico. Diante disso, novos estudos são necessários para confirmação de resultados. Adicionalmente, há a necessidade de uma caracterização química completa das fontes utilizadas, já que nesse trabalho foram assumidos os teores declarados pelo fabricante. Elementos como o B, de elevada taxa de recuperação pelas plantas, de até 27% com a ulexita neste trabalho, pequenas variações de dose podem implicar em grandes variações em seus efeitos, incluindo toxidez. A ulexita pode conter entre 10 e 15% de B (Bologna, 2003), assim admitir um ou outro valor pode implicar em variação de dose do elemento de até 50%.

Ensaio 2 – Zinco

Os resultados demonstraram claramente, sem contradições, a maior eficiência do sulfato de Zn comparado à outras fontes, sendo que em solo argiloso houve maior produção de MS e acúmulo de Zn (ver Tabela 4, Figuras 5, 6 e 7).

A maior produção de matéria seca em solo argiloso sugere-se à fatores não necessariamente relacionados à reatividade das fontes do elemento, como comentado para o B, já que em solo argiloso espera-se maior retenção de Zn na fase sólida em comparação com o solo de menor teor de argila, preservando a mesma concentração de matéria orgânica e qualidade das argilas. Apesar de não ter sido medida a produção de raízes, espera-se que em solo argiloso o sistema radicular também tenha se desenvolvido mais, como isso a absorção de nutrientes é otimizada, destacando-se para aqueles como o Zn, em que a difusão é o principal mecanismo de transporte no solo, justificando assim, o maior acúmulo de Zn pelo milho no solo argiloso.

A superioridade do sulfato de Zn diante do ZnO e ZnP deveu-se as diferenças de solubilidade entre essas fontes. O sulfato de Zn é solúvel em água, enquanto o ZnO, também presente no fertilizante ZnP, precisa de acidez para ser solubilizado (Eq. 2). Essa reação no solo é favorecida quanto maior for a acidez, o tempo de reação e menor o tamanho das partículas do fertilizantes. Santos et al. (2017) reportaram que uma mistura de S⁰ e óxido de Zn promoveu maior acúmulo de Zn em cultivo de milho, comparado com o sulfato de Zn, até 45 d de cultivo, em solo argiloso.



A busca de fertilizantes que liberem nutrientes no solo em uma cinética mais próxima da crescente demanda das plantas é o objetivo principal desse trabalho. Assim, essa liberação, em tese mais controlada no tempo, preveniria perdas do nutriente no solo, que no caso do Zn passa ser mais relevante a quimiosorção com oxidróxidos de Fe e Al e reações de precipitação, e no caso do B, a lixiviação em solos mais arenosos. Entretanto, devido à necessidade de maior tempo de reação no solo dessas fontes para solubilização, no caso do ZnO, há a necessidade de avaliação da performance desses materiais por mais tempo de cultivo, ou mesmo em cultivos sucessivos. Assim como acompanhar suas disponibilidades no solo ao longo do tempo.

5 CONCLUSÕES

A ulexita possui elevada reatividade no solo, sendo equiparável ao ácido bórico no suprimento de B para o cultivo de milho. A associação da ulexita com o S^0 não aumentou a solubilização da ulexita a curto prazo.

A absorção de Zn pelo milho é maior com a aplicação de $ZnSO_4$, indicando maior disponibilidade no solo a curto prazo.

O tempo utilizado de avaliação foi insuficiente para qualificar as fontes de baixa reatividade de Zn no solo, uma vez não foi verificado qualquer indicio da solubilização do ZnO no solo até os 30 d de cultivo. Por outro lado, resultados recentes do nosso grupo de estudo têm indicado efeito do ZnO aos 45 d em cultivo de milho, inclusive superando o sulfato de Zn em solo argiloso.

6 REFERÊNCIAS

- BOLOGNA I. R. Adubação boratada em pomar de laranja pêra rio afetada por Clorose Variegada dos citros. Tese de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- USP. 2003
- CONSOLINI, F. & COUTINHO, E.L.M.. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 26(1), pp.7–12, 2004.
- DEGRYSE F.; BAIRD R.; MCLAUGHLIN M. J. Diffusion and solubility control of fertilizer-applied zinc: chemical assessment and visualization. *Plant Soil*. 386:195–204, 2015.
- HETTIARACHCHI, G.M., LOMBI, E., MCLAUGHLIN, M.J., CHITTLEBOROUGH, D.; JOHNSTON, C. Chemical behavior of fluid- and granular-Mn and Zn fertilizers in alkaline soils. *Aust. J. Soil Res.*, 48: 238-247, 2010.
- HOROWITZ N; MEURER EJ. Uso do enxofre elementar como fertilizante. Piracicaba, POTAFÓS. p.4-7, 2005.
- HOROWITZ, N. Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil. Tese de Doutorado. UFRGS. 2003. 111p.
- KIRKBY E. A.; RÖMHELD V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: micronutrientes na fisiologia de plantas: micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. ENCARTE DO INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 118 –2007.
- LIMA J. C.; SOUZA P.; NASCIMENTO C. W. A.; LIMA J. G. C.; LIRA JUNIOR M. A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:73-79, 2007.
- RUTKOWSKA B.; SZULC W.; SOSULSKI T., . STĘPIEŃ W. Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Plant Soil Environ*. Vol. 60, No. 5: 198–203.2014.
- SALVADOR J. O.; MOREIRA A.; MALAVOLTA E.; CABRAL C. P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. *Ciênc. agrotec.*, Lavras. V.27, n.2, p.325-331, 2003.
- SANTOS W O; MATTIELLO E.M; VERGUTZ L.; MATIAS P. C. Production and evaluation of a co-granulated elemental sulfur micronutrient fertilizer. *Int. J. Agron. Agri. R.* Vol. 10, No. 4, p. 14-23, 2017.