

Produção de Biomassa e Acúmulo de Nutrientes em Plantas de *Tithonia diversifolia* a Partir de Diferentes Agrominerais



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
297**

**Produção de Biomassa e Acúmulo de
Nutrientes em Plantas de *Tithonia diversifolia*
a Partir de Diferentes Agrominerais**

Carlos Augusto Posser Silveira
Joel Henrique Cardoso
Maria Tarciana Pereira da Cruz
Andréa Sander
Cassiana Michelin
Vanessa Fernandes Araújo
Simoni Becker
Daiane Leal Baldez
Milena Moreira Peres
Thaís Wacholz Kohler

**Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2018**

Embrapa Clima Temperado 24
BR 392 km 78 - Caixa Postal 403
CEP 96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Presidente
Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente
Enio Egon Sosinski

Secretário-Executivo
Bárbara Chevallier Cosenza

Membros
*Ana Luiza B. Viegas, Fernando Jackson,
Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto
Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica
Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica
Fernando Jackson

Foto capa
Paulo Lanzetta

1ª edição
Obra digitalizada (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Clima Temperado

P964 Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em
plantas de *Tithonia diversifolia* a partir de diferentes
agrominerais / Carlos Augusto Posser Silveira... [et al.].
– Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018.
26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /
Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 297)

1. Mineralogia. 2. Adubo verde. 3. Biomassa.
I. Silveira, Carlos Augusto Posser. II. Série.

CDD 631.8

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....8

Material e Métodos9

Resultados e Discussão14

Conclusões.....24

Referências25

Produção de Biomassa e Acúmulo de Nutrientes em Plantas de *Tithonia diversifolia* a Partir de Diferentes Agrominerais

Carlos Augusto Posser Silveira¹

Joel Henrique Cardoso²

Maria Tarciana Pereira da Cruz³

Andréa Sander⁴

Cassiana Michelin⁵

Vanessa Fernandes Araújo⁶

Simoni Becker⁷

Daiane Leal Baldez⁸

Milena Moreira Peres⁹

Thaís Wacholz Kohler¹⁰

Resumo - A espécie *Tithonia diversifolia* é cultivada como planta cicladora dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K) e, por isso, apresenta capacidade de ser utilizada como adubo verde, devido à sua enorme rusticidade e capacidade de absorver nutrientes mesmo em solos de baixa fertilidade. Assim, o presente trabalho teve por objetivo principal avaliar a capacidade de fornecimento de nutrientes de diferentes agrominerais sobre a produção de biomassa da parte aérea de *Tithonia diversifolia*; adicionalmente, investigou-se a neoformação de minerais secundários bem como a alteração da sanidade dos minerais primários constituintes de alguns agrominerais fontes de potássio. Os resultados indicaram que a espécie *Tithonia diversifolia* tem grande potencial como adubo verde, planta de cobertura ou cicladora de nutrientes; que os agrominerais apresentam potencial de fornecimento de nutrientes tanto para

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE.

³ Bacharel em Geologia.

⁴ Geóloga, mestre em Geociências, pesquisadora do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-PA) e professora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, RS.

⁵ Geóloga, doutora em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS.

⁶ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, Instrutora do Colégio Agrícola Dr. Luiz Martins Bastos, Uruguaiana, RS.

⁷ Técnica em Química.

⁸ Técnica em Química, mestre em Química Analítica e Ambiental.

⁹ Engenheira-agrônoma, mestranda em Agronomia, Ufpel, RS.

¹⁰ Gestora ambiental, mestranda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Ufpel, RS.

melhoria dos níveis de fertilidade do solo/substrato quanto para as plantas; e que agrominerais constituídos de vidro vulcânico (minerais amorfos) apresentam elevada capacidade de intemperismo físico, químico e/ou biológico.

Termos para indexação: remineralizadores; mineralogia; plantas recicladoras.

Biomass Production and Accumulation of Nutrients in *Tithonia diversifolia* Plants From Different Agrominerals

Abstract – *Tithonia diversifolia* is cultivated as a phosphorus and potassium nutrient cycling plant and therefore has the capacity to be used as a green manure because of its great rusticity and ability to absorb nutrients even in low fertility soils. Thus, the main objective of this work was to evaluate the nutrient supply capacity of different agrominerals on the biomass production of *Tithonia diversifolia*; additionally, it was investigated the neoformation of secondary minerals as well as the alteration of the sanity of the primary minerals constituting some agromineral sources of potassium. The results indicated that the species *Tithonia diversifolia* has great potential as a green manure, cover plant or nutrient cyler; that agrominerals present a nutrient supply potential both for soil / substrate fertility improvement and for plants; and that agrominerals constituted of volcanic glass (amorphous minerals) present high physical, chemical and / or biological weathering capacity.

Index terms: reminerals; mineralogy; recycling plants.

Introdução

Na maior parte dos países em desenvolvimento, o uso de fertilizantes de elevada solubilidade nas culturas alimentares básicas, tais como milho e feijão, tem sido geralmente restrito. A maioria dos pequenos agricultores não dispõem de recursos financeiros para a compra desse tipo de insumo para restituir os nutrientes exportados pelas colheitas. Dessa forma, como resultado, a fertilidade do solo diminuiu gradativamente. Ao mesmo tempo, resíduos orgânicos diversos, tais como, resíduos de colheitas e esterco, são frequentemente sugeridos como alternativas aos fertilizantes minerais solúveis. Porém, na maioria das vezes, tais fontes não estão disponíveis em quantidades suficientes, ou são pobres em nutrientes, e/ou seu processamento e aplicação são trabalhosos.

Por outro lado, a partir da Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, rochas moídas podem ser registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), na categoria de remineralizadores de solo, desde que atendam alguns critérios mínimos e apresentem algum grau de eficiência agrônômica. Com isso, surge a possibilidade de regionalização da oferta de insumos de baixo custo para aqueles pequenos produtores familiares. Ao mesmo tempo, a possibilidade de combinar fontes minerais com espécies de plantas eficientes no uso dos nutrientes é uma estratégia que pode minimizar a necessidade de insumos importados, bem como os custos de produção. Nesse sentido, *Tithonia diversifolia*, comumente conhecida como girassol mexicano, é um arbusto pertencente à família Asteraceae que apresenta tal capacidade, além de usos diversos como forragem (Anette, 1996; Roothaert; Patterson, 1997; Roothaert et al., 1997), ração para aves (Odunsi et al., 1996), lenha (Ng'inja et al., 1998), composto (Drechsel; Reck, 1998) e controle de erosão do solo (Ng'inja et al., 1998).

A despeito de todos esses usos, a biomassa verde dessa planta, rica em nutrientes, tem tido seu uso relatado como adubo verde eficaz para melhorar a fertilidade do solo (Jama et al., 2000), bem como fonte de nutrientes para as culturas do arroz (Nagarajah; Nizar, 1982) e milho (Gachengo, 1996; Gachengo et al., 1999).

Além disso, considerando-se a grande geodiversidade do Brasil, bem como a necessidade de desenvolver insumos de baixo custo, regionaliza-

dos, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos no Brasil para prospecção de agrominerais regionais (Bergmann, 2014, 2017; Bergmann et al., 2014), uso como fonte de nutrientes tanto para o solo quanto para as plantas (Grecco et al., 2012; Ribes et al., 2012; Silva, 2012; Bamberg et al., 2013), complemento aos fertilizantes convencionais de elevada solubilidade em áreas de fertilidade construída (Araújo, 2011; Denardi, 2012; Vignolo et al., 2011; Ranzan, 2018) e em processos de compostagem (Giacomini et al., 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo principal avaliar a capacidade de fornecimento de nutrientes de diferentes agrominerais e seu efeito sobre a produção de biomassa da parte aérea de *Tithonia diversifolia*; adicionalmente investigou-se a neoformação de minerais secundários ou alteração da sanidade dos minerais primários constituintes de alguns agrominerais fontes de potássio.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na sede da Embrapa Clima Temperado e teve duração de 207 dias (implantação em 12/01/2016 e finalização em 06/08/2016).

As mudas de *Tithonia diversifolia* foram obtidas a partir de estacas enraizadas e apresentavam em torno de um ano de idade. As mudas foram podadas a 50 cm de altura e colocadas em baldes com volume de 4.423 cm³.

Utilizou-se substrato comercial para produção de mudas de hortaliças à base de turfa, casca de arroz carbonizada e calcário calcítico. As garantias especificadas pelo fabricante foram: condutividade elétrica: 0,7 mS cm; densidade (base seca): 260 kg m⁻³; pH: 5,8; capacidade de retenção de água: 60%; 0,04% de N; 0,04% de P₂O₅; 0,05% de K₂O.

A caracterização geoquímica (teores totais) dos agrominerais utilizados no experimento encontra-se na Tabela 1; já na Tabela 2 constam aqueles agrominerais fontes de nutrientes, e na Tabela 3 estão descritos os tratamentos considerando-se as fontes e as doses de N, P₂O₅ e K₂O.

Os agrominerais tiveram sua granulometria padronizada em 100% <0,3 mm e as doses foram definidas para fornecer o equivalente a 90 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Após cada corte da parte aérea das

plantas, foi realizada a reaplicação de 30 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia – 67 kg ha^{-1} .

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, sendo a unidade experimental constituída de uma planta por balde. O delineamento de tratamento foi constituído de um único fator (tipo de adubação) com 16 níveis (Tabela 3).

Avaliou-se a produção de biomassa da parte aérea (folha+pecíolo) em três cortes (1º corte: 17/03/2016; 2º corte: 19/05/2016; 3º corte: 06/08/2016), biomassa de hastes (ao final do experimento, 3º corte: 06/08/2016), teores de nutrientes na parte aérea das plantas (folha+pecíolo e hastes) e análise química do substrato ao final do experimento. Adicionalmente, amostras de alguns tratamentos foram encaminhadas para análise de difração de raios X (Laboratório de Difractometria de Raios X, Instituto de Geociências/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IG/UFRGS), fluorescência de raios X (Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais/Unisinos) e microscopia eletrônica de varredura (em equipamentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul) para identificar a neoformação de minerais secundários ou alteração da sanidade dos minerais primários constituintes de alguns agrominerais fontes de K.

As variáveis foram submetidas à análise de variância e, em caso de significância do Teste F, realizou-se o teste de médias de Tukey a nível de 5% de probabilidade por meio do Sistema de Análise Estatística Winstat versão 1.0 (Machado; Conceição, 2003).

Tabela 1. Caracterização geoquímica de elementos maiores, menores e elementos traço de diferentes fontes de nutrientes.

Fontes de nutrientes	Caracterização geoquímica ¹																	
	%										ppm							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Hg
Fontes de fósforo																		
Fosfato Itaitós	31,2	3,5	1,7	0,4	33,2	0,02	0,64	24,71	0,10	0,005	3,8	29,8	15,2	440,0	67,4	14,5	3,9	0,47
Carbonatito Três Estradas	2,8	0,3	4,6	3,9	46,7	0,05	0,03	3,96	0,25	0,005	0,4	8,4	13,2	21,0	11,0	<0,5	0,2	<0,01
Carbonatito Joca Tavares	3,3	0,3	7,7	15,9	29,4	<0,01	<0,01	2,46	0,48	0,007	1,3	4,2	22,4	128,0	47,1	<0,5	0,4	<0,01
Fosforita Alvorada	2,4	6,5	17,0	0,2	26,2	0,34	0,05	24,00	2,05	0,004	1,2	46,5	234,7	144,0	14,7	<0,5	1,9	0,24
Fontes de potássio																		
Monzogranito	70,3	13,2	4,2	1,0	2,4	2,87	4,33	0,15	0,07	0,002	1,9	8,4	6,8	51,0	5,0	0,8	<0,1	<0,01
Fonolito atafítico	54,7	21,5	2,6	0,1	1,6	9,24	6,48	0,02	0,18	0,042	7,5	13,1	32,2	92,0	157,6	2,9	<0,1	<0,01
Fonolito MC	53,7	21,4	3,3	0,2	1,3	7,07	8,37	0,07	0,22	0,002	2,6	1,4	24,7	131,0	1,1	4,1	0,3	<0,01
Migmatito	64,0	14,7	5,8	2,4	3,4	3,43	3,67	0,21	0,09	0,004	1,7	22,5	5,3	63,0	15,4	0,7	<0,1	<0,01
Andesito basalto	65,6	11,6	8,7	0,3	1,1	0,3	8,41	0,64	0,06	0,047	4,7	16,5	39,1	40,0	117,0	1,8	<0,1	<0,01
Sienito Passo da Capela	61,3	19,1	2,1	0,1	0,1	1,04	14,07	0,04	0,16	0,012	2,5	6,8	10,7	41,0	30,0	16,6	<0,1	<0,01
Dacito CAX	65,8	12,8	7,0	1,4	3,8	3,18	3,48	0,26	0,11	0,002	0,6	65,6	1,7	36,0	2,4	0,7	<0,1	<0,01

¹ Analytical Laboratories Ltda (ACME), Vancouver/Canadá - determinação de elementos maiores, menores e elementos-traço pelos métodos de Inductively Coupled Plasma (ICP) e Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS).

Tabela 2. Teores de fósforo e de potássio em diferentes fontes de nutrientes.

Fontes de nutrientes	Teores de P_2O_5 e K_2O (%)
Fontes de fósforo	P_2O_5
Fosfato Itafós	24,70
Carbonatito Três Estradas	3,96
Carbonatito Joca tavares	2,43
Fosforita Alvorada	24,00
Fosfato Bayovar	33,00
Superfosfato triplo (SFT) - Fonte padrão de solubilidade	42,00
Fontes de potássio	K_2O
Granodiorito	4,33
Fonolito afanítico	6,48
Fonolito MC	8,37
Bioland	3,67
Andesito basalto (Ultrapotássica)	8,41
Sienito Passo da Capela	14,07
Dacito CAX	3,48
Cloreto de potássio (KCl) - Fonte padrão de solubilidade	60,00

Tabela 3. Descrição dos tratamentos (Tipos de adubação), doses e fontes de nutrientes aplicados para a espécie *Tithonia diversifolia*.

Tratamentos	Descrição dos tratamentos		Doses dos nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)				Doses das fontes (kg ha ⁻¹)			
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	N1	N2	N3	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O
T1	N-Ureia	Sem fósforo	Sem potássio	30	30	30	90	0	0	0
T2	N-Ureia	Sem fósforo	Cloreto de potássio	30	30	30	90	0	90	0
T3	N-Ureia	Superfosfato triplo	Sem potássio	30	30	30	90	80	0	190
T4	N-Ureia	Superfosfato triplo	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	190
T5	N-Ureia	Fosfato Itafós	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	324
T6	N-Ureia	Carbonatito Três Estradas	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	2.020
T7	N-Ureia	Carbonatito Joca tavares	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	3.292
T8	N-Ureia	Fosforita Alvorada	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	333
T9	N-Ureia	Fosfato Bayovar	Cloreto de potássio	30	30	30	90	80	90	242
T10	N-Ureia	Superfosfato triplo	Monzogranito	30	30	30	90	80	90	190
T11	N-Ureia	Superfosfato triplo	Fonolito afanítico	30	30	30	90	80	90	190
T12	N-Ureia	Superfosfato triplo	Fonolito MC	30	30	30	90	80	90	190
T13	N-Ureia	Superfosfato triplo	Migmatito	30	30	30	90	80	90	190
T14	N-Ureia	Superfosfato triplo	Andesito basalto	30	30	30	90	80	90	190
T15	N-Ureia	Superfosfato triplo	Sienito Passo da Capela	30	30	30	90	80	90	190
T16	N-Ureia	Superfosfato triplo	Dacito CAX	30	30	30	90	80	90	190

N1, N2, N3 - Aplicação de N, na forma de ureia, na dose de 30 kg ha⁻¹, na implantação do ensaio e após o primeiro e segundo cortes da parte aérea de plantas de *Tithonia diversifolia*

Resultados e Discussão

Nas duas primeiras amostragens realizadas (primeiro e segundo cortes), não foram observados efeitos dos diferentes tipos de adubação, tanto na produção de biomassa (massa seca da parte aérea, folha+pecíolo) quanto nos teores de nutrientes (dados não apresentados). Porém, no terceiro corte, transcorridos 207 dias de duração do experimento, constatou-se efeito dos tipos de adubação (Tabelas 4, 5 e 6 e Figuras 1, 2 e 3) sobre a massa seca da parte aérea, com destaque para os tratamentos constituídos de ureia+SF-T+Dacito CAX e ureia+F.Itafós+KCl, os quais foram superiores ao tratamento testemunha (apenas ureia) (Figura 1).

Tabela 4. Resultado da Anova para a variável massa seca da parte aérea (folha+pecíolo) de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	2	0,49292	0,246	0,0367	0,9641
Tipo de adubação	15	216,586	14,439	2,1472	0,03651
Resíduo	30	201,740	6,725	-	-
TOTAL	47	418,820	-	-	-

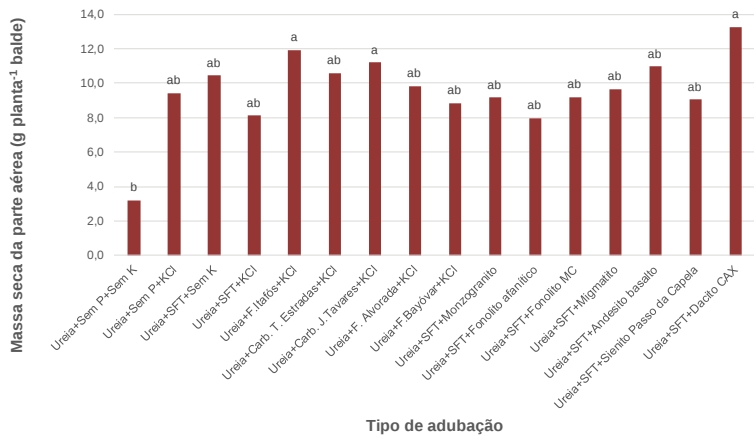


Figura 1. Massa seca da parte aérea (folha+pecíolo) de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias terceiro corte).

Letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As hastes das plantas de *T. diversifolia* representam aproximadamente dois terços da biomassa e podem ser considerados órgãos de reserva de nutrientes. Para essa parte da planta, constatou-se, assim como no caso das folhas+pecíolos, que o tratamento contendo o agromineral Dacito CAX promoveu os maiores valores, diferindo significativamente de pelo menos outros oito tratamentos, principalmente em relação à testemunha (Figura 2). De um modo geral, rochas silicáticas, constituídas de minerais primários, são referidas como fontes de nutrientes e para correção da acidez do solo (Theodoro et al., 2006; Souza et al, 2010; Silva, 2012).

Tabela 5. Resultado da Anova para a variável massa seca das hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p
Bloco	2	325,647	162,823	3,3635	0,04809
Tipo de adubação	15	2.708,093	180,540	3,7294	0,00105
Resíduo	30	1.452,287	48,410	-	-
TOTAL	47	4.486,027	-	-	-

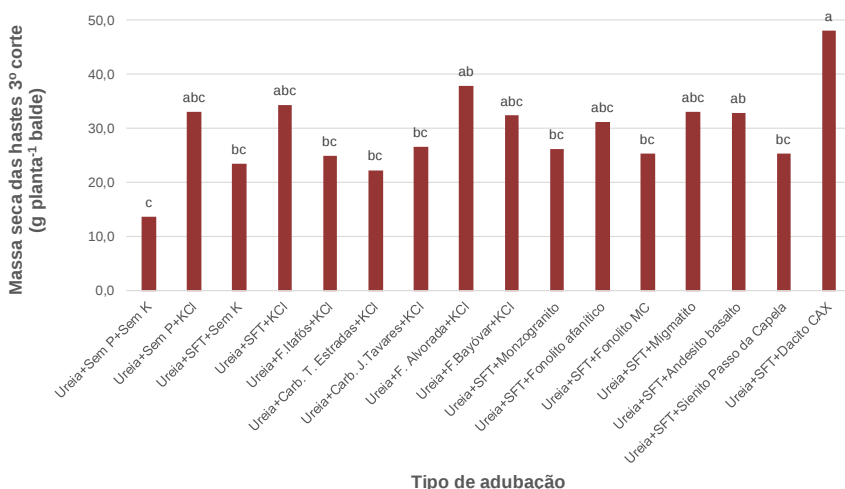


Figura 2. Massa seca das hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando considera-se a produção total de biomassa (folhas+pecíolos+has-tes) das plantas, três tratamentos promoveram aumentos significativos em relação à testemunha (somente N), com destaque para os tratamentos contendo Dacito CAX+ureia+SFT), Andesito basalto+ureia+SFT e ureia+F. Alvorada+KCl (Figura 3).

Tabela 6. Resultado da Anova para a variável massa seca da parte aérea (folha+pecíolo) e hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F	p	
Bloco	2	337,158	168,579	2,302	0,118	
Tipo de adubação	15	3.774,393	251,626	3,436	0,002	
Resíduo	30	2.197,009	73,234	-	-	
TOTAL	47	6.308,559	-	-	-	

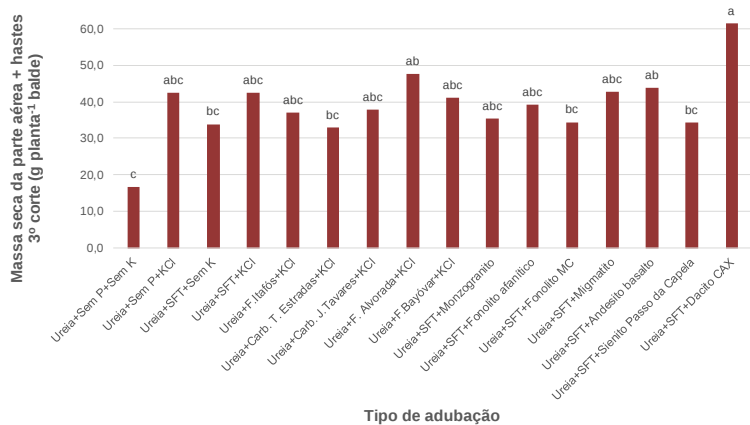


Figura 3. Massa seca da parte aérea (folha+pecíolo) e hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Porém, quando considerou-se a biomassa da parte aérea dos três cortes acumulados mais as hastes, não se constatou efeito significativo dos diferentes tipos de adubação, indicando que essa espécie apresenta elevada adaptabilidade às diferentes fontes de nutrientes, tanto de baixa quanta elevada solubilidade. O tratamento contendo apenas N, equivalente a 30 kg ha⁻¹ aplicados após cada corte, foi equivalente aos tratamentos completos (com P

e K) (Figura 4). Ao mesmo tempo, o substrato apresentava teores consideráveis desses nutrientes (Tabela 8), provavelmente em quantidades suficientes para manter índices mínimos de desenvolvimento vegetativo das plantas (ao menos até o segundo corte). Provavelmente, se o experimento tivesse maior tempo de duração, haveria o esgotamento dos nutrientes do substrato, conforme tendência identificada no terceiro corte.

Em relação ao potencial de produção de biomassa dessa planta, Gualberto et al. (2011) testaram espaçamentos e épocas de corte da parte aérea e encontraram produção de 3,4 a 19,7 Mg ha⁻¹ de massa seca, sendo que a produção por planta variou de 0,13 a 1,0 kg planta⁻¹. No caso do presente trabalho, a massa seca média foi de 0,08 kg ha⁻¹, o que corresponde a 2,2 Mg ha⁻¹, produção menor do que as observadas em condições de campo.

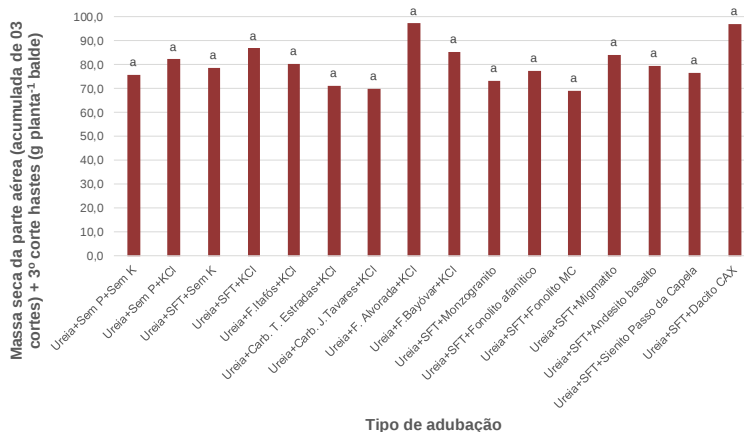


Figura 4. Massa seca da parte aérea (folha+pecíolo), acumulada de três cortes, e hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, constatou-se efeito altamente significativo na absorção de nutrientes pelas plantas, tanto nas folhas+pecíolos quanto nas hastes (Tabela 7).

Via de regra, os diferentes agrominerais proporcionaram aumento nos teores de nutrientes na parte aérea e nas hastes. Na Figura 5 estão apresentados os teores de P e K, bem como de manganês (Mn) Mn e sódio (Na), dois elementos que se destacaram nas análises. No caso da maioria dos nu-

trientes, teores mais elevados foram observados na folha+pecíolo, enquanto que para o Na os maiores teores foram observados nas hastes. Destaca-se ainda o teor altamente significativo de Mn, tanto na parte aérea quanto nas hastes, observados no tratamento testemunha (Figura 5), contendo apenas ureia e o substrato.

Dentre os agrominerais fornecedores de P, o carbonatito Joca Tavares possibilitou um dos maiores teores de P na parte aérea, significativamente superior à maioria dos tratamentos e não diferindo de apenas quatro tratamentos cuja fonte de P foi o SFT (Figura 5). Ao mesmo tempo, esse agromineral, na presença da fonte solúvel de K (KCl) proporcionou um dos mais elevados teores de K na parte aérea das plantas. Esse resultado indica certo grau de sinergismo entre as fontes de nutrientes, o que possibilitou respostas de absorção de K equivalentes ao tratamento padrão de solubilidade (Ureia+SFT+KCl) (Figura 5). Ribes et al. (2012) e Buss et al. (2012) observaram resultados semelhantes com a cultura do milho.

No caso dos tratamentos com agrominerais fontes de K, a totalidade dos tratamentos contendo KCl promoveram teores significativamente superiores àqueles observados com as outras fontes, tanto na parte aérea quanto nas hastes (Figura 5 e Tabela 2).

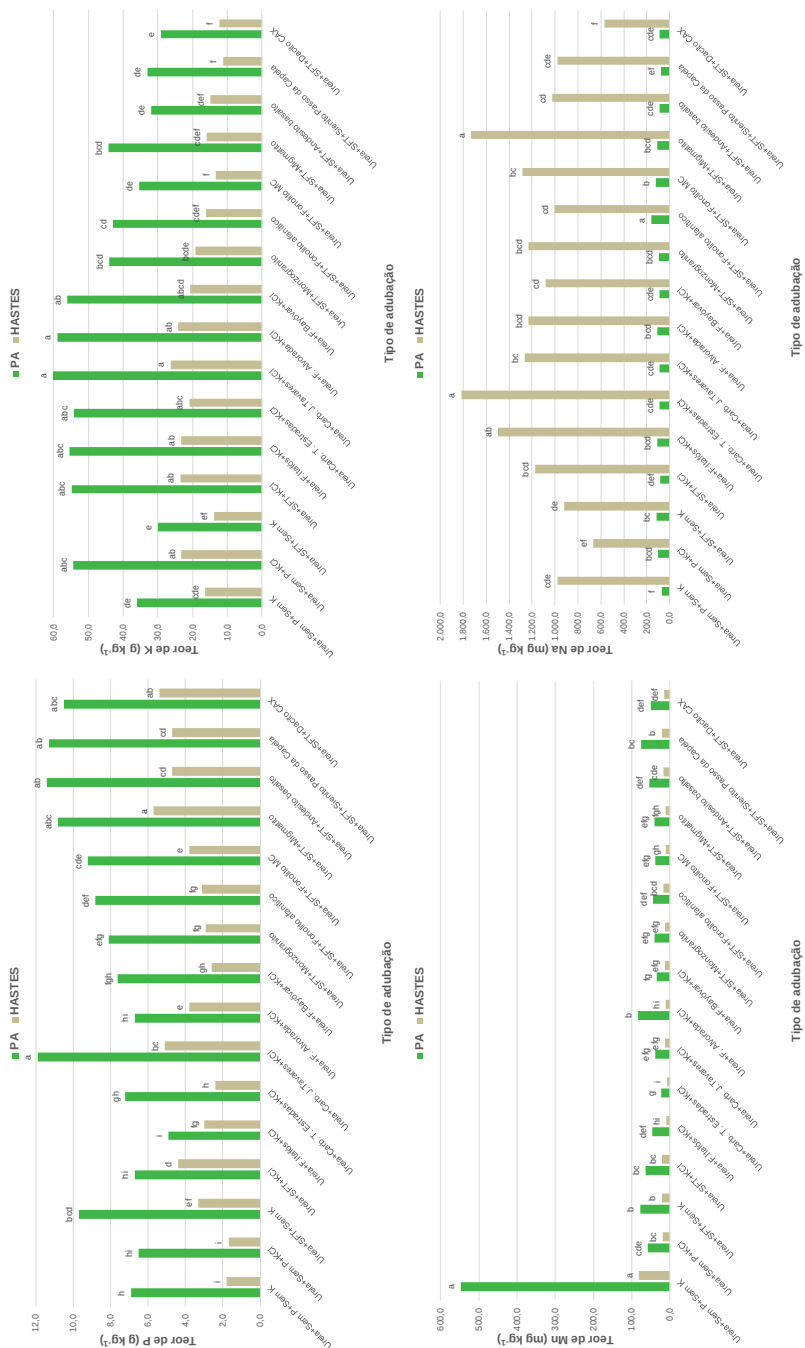
Em relação ao teor de nutrientes nas hastes, os resultados foram menos significativos do que aqueles observados para a parte aérea, com destaque para apenas dois tratamentos (com Migmatito e com Dacito CAX), os quais proporcionaram os maiores teores de P; por outro lado, para o K, a maioria dos tratamentos não diferiu entre si, com destaque negativo para o tratamento sem K (Ureia+SFT+sem K), e com fonolito MC, Sienito Passo da Capela e Dacito CAX.

Tabela 7. Significância do Teste F para teores de nutrientes na parte aérea (folha+pecíolo) e hastes de plantas de *Tithonia diversifolia* em amostragem realizada aos 207 dias (terceiro corte).

Parte da planta	Nutrientes								
	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
Parte aérea (folhas e pecíolos)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Hastes	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Em avaliação realizada no substrato ao final do experimento (Tabela 8), constatou-se aumento dos teores de N, P e K, quando comparados às garantias do fabricante (0,04%, 0,04% e 0,05%, respectivamente), mesmo para o tratamento sem a presença de P e K, indicando processos de aporte de nutrientes via biomassa do sistema radicular, bem como solubilização e acúmulo de nutrientes, a despeito da absorção e exportação desses nutrientes pelas plantas. Além disso, a maioria dos tratamentos possibilitou aumento no percentual da capacidade de retenção de água do substrato (Tabela 8).

Letras distintas diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade



Adicionalmente, no caso de dois agrominerais (Fonolito MC e fonolito afanítico), os teores de Na_2O aumentaram significativamente no substrato, quando comparado aos demais, resultado condizente com a concentração desse elemento presente nessas rochas (7,07% e 9,24%, respectivamente, Tabela 1). Porém, ainda que os teores de Na_2O tenham aumentado no substrato, os tratamentos que promoveram a maior absorção de sódio foram aqueles com Migmatito, e com as seguintes fontes de P: Carbonatito Três Estradas e Fosfato Itafós. No caso do Migmatito, esse agromineral apresenta 3,43% de Na_2O (concentração baixa, se comparada aos fonolitos), porém, provavelmente sua constituição mineralógica, bem como a sanidade de seus minerais, pode ter contribuído para a maior absorção e acúmulo na parte aérea das plantas. Já em relação às fontes de P, considerando-se que ambas apresentam os menores teores de Na_2O (Tabela 1), é possível que tenha havido sinergismo na absorção desse elemento, naturalmente presente no substrato (tratamento Testemunha, Tabela 8). Assim, é importante monitorar esse elemento, principalmente para espécies sensíveis e em ambientes de baixa pluviosidade. Vale salientar que as rochas do tipo fonolito apresentam os maiores teores de Na_2O dentre os testados no presente trabalho (Tabela 1) e, portanto, o aumento dos teores no substrato era esperado, principalmente pelo fato de o Na ser um dos elementos mais rapidamente liberados dos minerais (Bamberg et al., 2011).

Importante destacar ainda que, em análise realizada no substrato, ao final do experimento, Da Cruz (2018) identificou, por meio de microscopia eletrônica de varredura, a presença de micorrizas atravessando o plano dos minerais presentes no agromineral Dacito CAX, bem como feições de dissolução dos mesmos, provavelmente pela ação combinada de intemperismos físico, químico e biológico (Figura 6).

Como complemento à microscopia, Da Cruz (2018) realizou análise de fluorescência de raios X, tanto na amostra do substrato, após o término do experimento, quanto no pó do Dacito CAX puro, e constatou a perda do elemento K. Em particular, esse tipo de agromineral, constituído de vidro vulcânico (minerais amorfos), apresenta elevada capacidade de intemperismo físico, químico e/ou biológico e, em curto prazo (200 dias), de liberar nutrientes para o solo e plantas conforme constatado por Grecco et al. (2012).

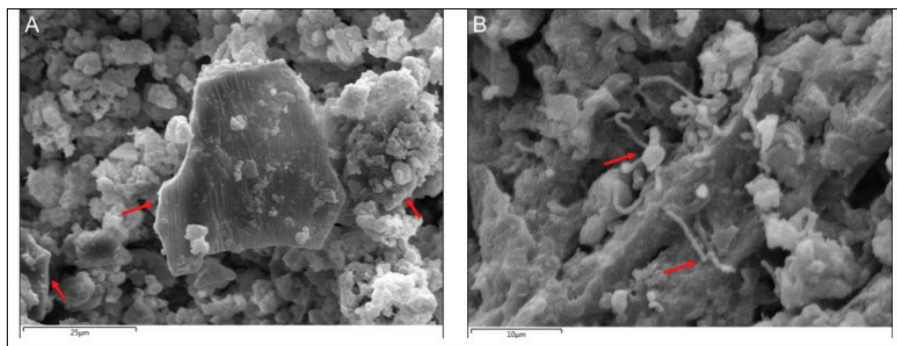


Figura 6. Imagem de amostra do tratamento contendo a mistura de substrato com Dacito CAX com destaque para: A) feições de dissolução e agregados de minerais em volta do grão (pó); B) interação com micorrizas. Adaptado de Da Cruz (2018).

Tabela 8. Análise da mistura de substrato comercial com diferentes tipos de adubação em amostragem realizada ao final do experimento (207 dias) com plantas de *Tithonia diversifolia*.

Constituição dos tratamentos¹		Análise do substrato² ao final do experimento (janeiro a agosto/2016)																		
		pH	CO³	N	P	P₂O₅⁴	K	K₂O⁴	Ca	CaO⁴	Mg	MgO⁴	Al	CRA⁵	CTC	mg kg⁻¹				
																Mn	Na	Na₂O⁴	Zn	
															cmolc kg⁻¹					
		%																		
T1	Sem fósforo	Sem potássio	6,1	34	1,5	0,09	0,21	0,08	0,10	2,2	3,08	0,30	0,50	0,62	55	118,5	200	514	693	33
T2	Sem fósforo	KCl	6,2	33	1,3	0,08	0,18	0,07	0,08	2,4	3,36	0,29	0,48	0,60	67	151,1	139	501	675	23
T3	Superfosfato triplo	Sem potássio	6,2	33,	1,3	0,10	0,23	0,05	0,06	2,6	3,64	0,35	0,58	0,58	63	119,4	131	533	718	25
T4	Superfosfato triplo	KCl	6,2	30	1,4	0,12	0,27	0,09	0,11	2,1	2,94	0,25	0,41	0,80	63	124,7	136	500	674	33
T5	Fosfato Itafós	KCl	6,2	34	1,3	0,12	0,27	0,08	0,10	2,5	3,50	0,29	0,48	0,60	64	125,5	155	517	697	27
T6	Carbonatito Três Estradas	KCl	6,4	25	1,3	0,10	0,23	0,09	0,11	2,9	4,06	0,32	0,53	0,76	64	123,9	150	496	669	27
T7	Carbonatito Joca Tavares	KCl	6,7	34	1,3	0,11	0,25	0,10	0,12	3,2	4,48	0,51	0,85	0,54	64	119,2	212	528	712	27
T8	Fosforita Alvorada	KCl	6,3	33	1,3	0,14	0,32	0,07	0,08	2,2	3,08	0,27	0,45	0,59	60	109,2	201	432	582	28
T9	Fosfato Bayovar	KCl	6,4	33	1,3	0,11	0,25	0,09	0,11	2,5	3,50	0,27	0,45	0,60	65	115,6	121	508	685	24
T10	Superfosfato triplo	Monzogranito	6,3	35	1,3	0,09	0,21	0,06	0,07	2,2	3,08	0,30	0,50	0,55	65	117,5	144	424	572	25
T11	Superfosfato triplo	Fonolito afanítico	6,4	33	1,3	0,08	0,18	0,05	0,06	2,0	2,80	0,25	0,41	0,67	56	112,3	115	914	1.232	25
T12	Superfosfato triplo	Fonolito MC	6,4	32	1,3	0,08	0,18	0,07	0,08	2,5	3,50	0,29	0,48	0,67	69	113,1	147	1.100	1.483	69
T13	Superfosfato triplo	Migmatito (Bioland)	6,3	33	1,3	0,10	0,23	0,06	0,07	2,5	3,50	0,33	0,55	0,62	67	113,3	138	641	864	24
T14	Superfosfato triplo	Andesito basalto	6,4	32	1,3	0,09	0,21	0,07	0,08	2,5	3,50	0,30	0,50	0,49	68	117,8	138	573	772	22
T15	Superfosfato triplo	Sienito Passo da Capela	6,4	33	1,3	0,08	0,18	0,06	0,07	2,4	3,36	0,30	0,50	0,58	64	108,9	116	589	794	25
T16	Superfosfato triplo	Dacito CAX	6,4	33	1,3	0,08	0,18	0,04	0,05	2,7	3,78	0,31	0,51	0,50	64	120,8	120	588	793	27

¹ Todos os tratamentos tem N-Uréia; ² Segundo metodologia para análise de composto orgânico (Laboratório de Análises de Solos; resíduos e plantas da UFRGS); ³ CO - Carbono orgânico; ⁴ Valores convertidos para interpretação como resultado de análise de solo; ⁵ CRA - Capacidade de retenção de água

Conclusões

A espécie *Tithonia diversifolia* tem potencial como adubo verde, planta de cobertura ou cicladora de nutrientes.

Agrominerais fontes de P e K apresentam potencial de fornecimento desses nutrientes tanto para melhoria dos níveis de fertilidade do solo/substrato quanto para as plantas.

Agrominerais constituídos de vidro vulcânico (minerais amorfos) apresentam elevada capacidade de intemperismo físico, químico e/ou biológico.

Referências

- ARAÚJO, V. F. **Utilização de fertilizantes a base de xisto na produção e qualidade de morangos**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; TONIOLO, J. A.; GRECCO, M. F.; POTES, M. da L. Desempenho agrônomo de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas do milho e trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 24-31.
- BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; POTES, M. L.; PILLON, C. N.; LOUZADA, R. M.; CAMPOS, A. A. Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por diferentes tipos de rochas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2011.
- BERGMANN, M. Distribuição e potencial de aproveitamento econômico dos basaltos amigdaloides à zeolitas do Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B. (Org.). **Metalogenia e exploração mineral no Grupo Serra Geral**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. p. 261-275.
- BERGMANN, M. Remineralizadores no Brasil: o trabalho da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Cerrados; Assis, SP: Triunfal, 2017.
- BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; GRECCO, M. F. Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L. A.; SILVA, J. T. da; DONATO, M. (Org.). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. p. 119-126.
- BUSS, R. R.; RIBES, R. P.; GRECCO, M. F.; BAMBERG, A. L. Fornecimento de potássio por rochas moídas para a cultura do milho em experimento de casa de vegetação. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPEL, 21., 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2012.
- DA CRUZ, M. T. P. **Comportamento do pó de três diferentes rochas no processo de remineralização de solo em experimento agrônomo**. 2018. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo.
- DENARDI, T. **Avaliação de doses da matriz fertilizante MBR no desenvolvimento inicial e na produção de frutas de ameixeira cultivar Irati**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- DRECHSEL, P.; RECK, B. Composted shrub-prunings and other organic manures for smallholder farming systems in southern Rwanda. **Agroforestry Systems**, v. 39, p. 1-12, 1998.
- GACHENGO, C. N. **Phosphorus release and availability on addition of organic materials to phosphorus fixing soils**. 1996. MSc thesis. Moi University, Eldoret, Kenya.
- GACHENGO, C. N.; PALM, C. A.; JAMA, B.; OTHIENO, C. *Tithonia* and senna green manures and inorganic fertilizers as phosphorus sources for maize in western Kenya. **Agroforestry Systems**, v. 44, p. 21-36, 1999.

GIACOMINI, D. A.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, S. J.; DONEDA, A.; CANTÚ, R. R.; DESSBESELL, A.; LÜDTKE, R. C.; POSSER SILVEIRA, C. A. Mitigação das emissões de amônia por zeólitas naturais durante a compostagem de dejetos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 521-530, jul. 2014.

GRECCO, M. F.; BERGMANN, M.; BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R. Potencial da rocha dacítica para remineralização de solos. In: WORKSHOP DE INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012.

GUALBERTO, R.; SOUZA JÚNIOR, O. F.; COSTA, N. R.; BRACCIALLI, C. D.; GAION, L. A. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (HEMSL.) Gray. **Nucleus**, v. 8, n. 1, abr. 2011.

JAMA, B.; PALM, C. A.; BURESH, R. J.; NIANG, A.; GACHENGO, C. N.; NZIGUHEBA, G.; AMADALO, B. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. **Agroforestry Systems**, v. 49, p. 201–221, 2000.

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para Windows**: Winstat: Versão 1.0. Pelotas: UFPel, 2003.

NAGARAJAH, S.; NIZAR, B. M. Wild sunflower as a green manure for rice in the mid-country west zone. **Tropical Agriculturalist**, v. 138, p. 69–78, 1982.

NG'INJA, J. O.; NIANG, A.; PALM, C.; LAURIKS, P. **Traditional hedges in western Kenya**: typology, composition, distribution, uses, productivity and tenure. Maseno, Kenya: Regional Agroforestry Research Centre, 1998. Pilot Project Report No. 8.

ODUNSI, A. A.; FARINU, G. O.; AKINOLA, J. O. Influence of dietary wild sunflow (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray) leaf meal on layers performance and egg quality. **Nigerian Journal of Animal Production**, v. 23, p. 28–32, 1996.

RANZAN, T. **Fontes para reposição potássica e fosfatada em área com a fertilidade construída**. 2018. 66 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIBES, R. P.; BUSS, R. R.; LAZARI, R.; POTES, M. L.; BAMBERG, A. L. Efeito de rochas moídas sobre a concentração de macronutrientes na parte aérea de plantas de milho. In: WORKSHOP DE INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM.

SILVA, D. R. G. **Caracterização e avaliação agronômica de rochas silicáticas com potencial de uso como fontes alternativas de nutrientes e corretivos da acidez do solo**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

SOUZA, F. N. S.; ALVES, J. M.; DAGOSTINI, L. R.; PINHEIRO, O. N.; ALMEIDA, V. R.; CAMPOS, G. A. Rochas silicáticas na correção e adubação de solos In: MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H (Ed.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. Cap. 36, p. 289-295.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, v. 9, n. 2, p. 30, 2006.

VIGNOLO, G. K.; ARAÚJO, V. F.; KUNDE, R. J.; SILVEIRA, C. A. P.; ANTUNES, L. E. C. Produção de morangos a partir de fertilizantes alternativos em pré-plantio.

Revista Ciência Rural, v. 41, n. 10, p. 1755-1761, 2011.

