

**SILICATO NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
DEGRADABILIDADE DO CAPIM-MARANDU**

ADRIANA ALVES SOUZA DELVAUX

2013

ADRIANA ALVES SOUZA DELVAUX

**SILICATO NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
DEGRADABILIDADE DO CAPIM-MARANDU**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis

**UNIMONTES
MINAS GERAIS - BRASIL
2013**

[Digite texto]

D367s Delvaux, Adriana Alves Souza.
Silicato no rendimento, composição química e degradabilidade no campim-marundu [manuscrito] / Adriana Alves Souza Delvaux. – 2013.
68 p.

Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros-Janaúba, 2013.
Orientador: Prof^o. DSc. Sidnei Tavares dos Reis.

1. Capim-marandu. 2. Forragem. 3. Silício. I. Reis, Sidnei Tavares dos. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.202

[Digite texto]

ADRIANA ALVES SOUZA DELVAUX

**SILICATO NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
DEGRADABILIDADE DO CAPIM-MARANDU**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 30 de AGOSTO de 2013.

Prof. Dr. João Paulo Sampaio - UNIMONTES

Prof. Dr. José Augusto dos Santos Neto - UNIMONTES

Prof. Dra. Eleuza Clarete Junqueira de Sales - UNIMONTES

Prof. Dr. Antônio Ricardo Evangelista – UFLA/UFVJM

Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis
UNIMONTES
(Orientador)

UNIMONTES
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Às minhas forças inspiradoras,
minha filha, AMIRA, e meu esposo, NELSON.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pai todo poderoso, fonte inesgotável de generosidade.

Aos meus pais, Delcy e José Carlos, pelos gestos de amor, ensinamentos e exemplos de lealdade.

Ao meu anjo, Amira, que mesmo sem qualquer entendimento me ajudou com o seu sorriso e companhia admirável.

Ao meu esposo, Nelson, pelo companheirismo ímpar, incentivo ao longo do curso, generosidade na execução do experimento. A conclusão de mais essa etapa será dedicada também a você.

Ao meu irmão, Carlos Joulberth, exemplo de dedicação na pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sidnei Tavares, pela presteza, profissionalismo e contribuições com esta pesquisa ao longo do curso.

Ao professor Dr. João Paulo, por compartilhar sempre o seu conhecimento.

À professora Dra. Eleuza, pela colaboração e transmissão de conhecimento que veio somar a esta pesquisa.

Ao professor Dr. José Augusto, pela prontidão e disponibilidade em participar da banca.

Aos professores da pós-graduação, pelos conhecimentos e disponibilidade deixados por todos vocês. Aos prestativos funcionários, Leonardo, Valmir e Ronilson, da fazenda experimental da UNIMONTES.

A todos os colegas de mestrado, pela simpatia e convívio. Em especial, à Paula, pela amizade, atenção, carinho e generosidade infinita. A todos os alunos, com os quais tive a oportunidade de conviver no laboratório de bromo, agradeço o cordial convívio com Polinarte, Elizângela, Leonardo, Luís Henrique, Jaime, Flávio, Karla, Hellen, Maria Cecília, Annamaria, Luís e demais colegas.

A Harsco, à Rima e à Lanza Vieira, pelos produtos disponibilizados. À FAPEMIG e à CAPES, pelas bolsas de mestrado concedidas.

[Digite texto]

A todos que menos ou mais, muito ou pouco, errando ou acertando contribuíram para que essa pesquisa fosse concluída, pois, "Todo aquele que se dedica ao estudo da ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar-nos (*Albert Einstein*).

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1INTRODUÇÃO.....	1
2REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Correção do solo em gramínea.....	2
2.2 Silício e ocorrência no solo	6
2.3 Condições do solo e Mecanismos de absorção pelas plantas.....	7
2.4 O silício como corretivo de solos.....	8
2.5 Silicatagem: efeito no solo e sobre as características das plantas.....	10
2.6 Influência da Silicatagem na composição química e digestibilidade do capim-marandu	14
2.7 Fontes de silício disponíveis no mercado.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Local e condução do experimento.....	18
3.2 Análises químicas.....	21
3.3 Avaliação da cinética da degradação ruminal	22
3.4 Análise estatística... ..	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Rendimento e Análises químicas.....	26
4.2 Cinética da degradação ruminal	50
5 CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS

EE – Extrato etéreo;

FDN – Fibra em detergente neutro;

FDA – Fibra em detergente ácido;

FDN/FDA – Relação FDN e FDA;

MM – Matéria mineral;

MS – Matéria seca;

NIDN – Nitrogênio insolúvel em detergente neutro;

NIDA – Nitrogênio insolúvel em detergente ácido;

PB – Proteína bruta;

HEM – Hemicelulose;

CEL – Celulose

LIG – Lignina

PMS – Produção de Matéria seca;

MN – Matéria Natural

DIVMS – Digestibilidade *in vitro* da MS

DIVFDN - Digestibilidade *in vitro* da FDN

RESUMO

DELVAUX, Adriana Alves Souza. **Silicato no rendimento, composição química e degradabilidade do capim-marandu**. 2013. 68 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.¹

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a composição química e a digestibilidade do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício. O experimento foi realizado na fazenda experimental da UNIMONTES, campus de Janaúba-MG. O experimento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de $4 \times 2 + 1$, constituído de 4 níveis de silicato de cálcio (400 kg ha^{-1} , 800 kg ha^{-1} , 1600 kg ha^{-1} , 2400 kg ha^{-1}), duas fontes de silicato de cálcio (Agrossilício e Silmag) e uma testemunha (calcário magnesiano). Avaliaram-se o Rendimento de matéria natural (RMN), a Produção de matéria seca (PMS), determinaram-se a MM, PB, NIDN, NIDA, FDN, FDA, relação FDN/FDA, lignina, celulose, hemicelulose e a digestibilidade *in situ* da MS e da FDN e seus respectivos parâmetros ruminais. Os silicatos foram superiores ($p < 0,05$) à testemunha para todas as variáveis da composição química, exceto para a lignina ($p > 0,05$). A adição de doses crescentes de agrossilício reduz o teor de MS, PMS, MM, RMN, PB, lignina; e de silmag a PMS, FDN/FDA, o teor de MM, MN, hemicelulose e lignina. O Agrossilício apresentou comportamento quadrático para celulose, hemicelulose, FDN/FDA, FDN, FDA, NIDN e NIDA. O silmag teve o mesmo comportamento para MS, PB, celulose, FDN, FDA, NIDN e NIDA. O desaparecimento e a digestibilidade da MS e FDN da forrageira não foram influenciados pelos tratamentos. Entretanto, o Silmag apresentou 2,58% e 0,01% das frações DE e C da MS, respectivamente, a mais que o Agrossilício. Apenas o silmag na dosagem de 400 kg ha^{-1} superou a testemunha. Todavia, o Silmag apresentou 3,31%, 3,45% e 3,95% de DE nas doses de 400, 800 e 1600 kg ha^{-1} a mais que o Agrossilício, respectivamente. O Agrossilício na dosagem de 400 kg ha^{-1} resulta em melhores respostas quanto ao rendimento, composição química e digestibilidade no capim-marandu.

¹ Comitê de orientação: Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis (Orientador) – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES. Prof. Dra. Eleuza Clarete Junqueira de Sales (Coorientadora) – Departamento de Ciências Agrárias/UNIMONTES.

ABSTRACT

DELVAUX, Adriana Alves Souza. **Silicate on yield, chemical composition and degradability of Marandu grass.** 2013. 68 p. Dissertation (Master's degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.¹

The objective of this research was to evaluate the chemical composition and digestibility of Marandu grass subjected to different doses and sources of silicon. The experiment was carried out at experimental farm of UNIMONTES, campus Janaúba-MG. The experiment was in randomized blocks in a factorial scheme 4 x 2 + 1, composed of 4 levels of calcium silicate (400 kg ha⁻¹, 800 kg ha⁻¹, 1600 kg ha⁻¹, 2400 kg ha⁻¹, two sources of calcium silicate (Agrossilício and Silmag) and a control (magnesium limestone). The yield of fresh matter (NMR) and dry matter production (DMP) were evaluated. We determined the MM, CP, NDIN, NIDA, NDF, ADF, NDF/ADF ratio, lignin, cellulose, hemicellulose and *in situ* digestibility of DM and NDF and their respective rumen parameters. Silicates were higher (p < 0.05) to control for all variables of the chemical composition except for lignin (p > 0.05). Addition of increasing doses of agrossilício reduce the content of DM, DMP, MM, NMR, CP, lignin; and increasing doses of Silmag decrease DMP, NDF / ADF, the content of MM, NM, hemicellulose and lignin. The agrossilício showed quadract effect for cellulose, hemicellulose, NDF/ADF, NDF, ADF, and NDIN ADIN. The Silmag had the same behavior for DM, CP, cellulose, NDF, ADF, and NDIN ADIN. The disappearance and digestibility of DM and NDF of the forage were not affected by treatments. Meanwhile, Silmag showed 2.58 % and 0.01 % of fractions ED and C of DM, respectively, more than the agrossilício. Only Silmag in dosage of 400 kg ha⁻¹ exceeded the control. Nevertheless, Silmag showed 3.31 %, 3.45 % and 3.95 % of ED at doses of 400, 800 and 1600 kg ha⁻¹ more than the agrossilício, respectively. The agrossilício at the dosage of 400 kg ha⁻¹

¹ **Guidance committee:** Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis (Adviser)– Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES. Prof. Dra. Eleuza Clarete Junqueira de Sales (Co-adviser) – Department of Agrarian Sciences/UNIMONTES.

[Digitized text]

results in better responses in terms of yield, chemical composition and digestibility in Marandu grass.

[Digite texto]

1 INTRODUÇÃO

A atividade agropecuária busca, cada vez mais, reduzir o custo de produção, trabalhar com responsabilidade socioambiental, melhorar a qualidade sem negligenciar a quantidade do produto que é demandada pelo mercado consumidor e, conseqüentemente, maximizar os ganhos financeiros.

A degradabilidade da forrageira no ambiente ruminal pode ser influenciada por fatores controláveis como manejo da fertilidade e pH do solo, pressão de pastejo, ocupação da pastagem e aqueles não controláveis tais como a radiação solar, temperatura, características físicas do solo, dentre outros. O conhecimento e manejo adequado das condições químicas do solo no sistema agropecuário é fundamental. A correção da acidez do solo é essencial para que as culturas respondam à adubação com máxima eficiência.

Dentre as técnicas indicadas para corrigir a acidez do solo, a silicatagem se destaca por proporcionar alguns benefícios, como adição de silício em culturas anuais e forrageiras; espessamento da parede celular; aumento da produtividade; controle de pragas e doenças; redução do estresse hídrico e influência nas condições químicas do solo e da planta dentre outros. Contudo, resultados experimentais permitem concluir que a silicatagem reduz a digestibilidade de plantas forrageiras.

O conhecimento dos fatores que determinam a eficiência do processo fermentativo ruminal pode contribuir com o aumento da produtividade, eficiência econômica e ambiental destes sistemas de produção. Portanto, objetivou-se com a pesquisa avaliar a composição química e a digestibilidade do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício nas condições do norte de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Correção do solo em gramínea

A correção da acidez do solo é fundamental para que as culturas respondam à adubação com máxima eficiência, principalmente nas regiões semiáridas. Mesmo que algumas espécies de pastagens, como as do gênero *Brachiaria*, sejam tolerantes à acidez, elas podem não maximizar a produção nessa situação. Em condição ácida, o solo provido de elementos químicos os indisponibiliza às plantas e, conseqüentemente diminui a eficiência de uso desses nutrientes e reduz o crescimento das mesmas (MALAVOLTA, 1986).

As gramíneas forrageiras pertencentes aos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* destacam-se principalmente por serem competitivas e possuírem elevada capacidade de produção de matéria seca (MS). Esses argumentos frequentemente são utilizados como justificativas para a não adoção das práticas de calagem e adubação (FORTES *et al.*, 2008).

Entretanto, Aguiar (1998) afirma que o conceito de que as plantas forrageiras tropicais são de baixa exigência em fertilidade do solo deve ser modificado, visto que a exploração em níveis elevados de produção requer a extração de quantidades de nutrientes do solo pela planta forrageira de 2,5 a 10 vezes maiores que as quantidades extraídas pelas culturas comerciais.

A calagem nos sistemas intensivos é importante para garantir a máxima eficiência de uso dos nutrientes presentes nos fertilizantes aplicados e para reverter a acidificação dos solos ocasionada pelo uso dos fertilizantes químicos, especialmente os nitrogenados. O sistema de pastagem deve sempre ser analisado na íntegra, pois quando o mesmo é manejado intensivamente, as doses de corretivos e fertilizantes usadas são elevadas, enquanto que em sistemas

[Digite texto]

extensivos essas doses aplicadas são baixas segundo a 5ª aproximação (CFSEMG, 1999).

A calagem é uma prática clássica usada para corrigir a acidez do solo empregando-se o calcário. Conforme Ribeiro *et al.* (1999), além de fornecer cálcio e magnésio eleva o pH (diminui a acidez); aumenta a disponibilidade de fósforo e molibdênio, entre outros, que em pH baixo não são assimiláveis e a neutralização do alumínio, ferro e manganês, que podem estar em formas e quantidades tóxicas às plantas.

Fortes *et al.* (2008) avaliaram níveis de silicato de Ca e Mg em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1 em casa de vegetação, as gramíneas responderam de forma positiva à elevação dos níveis de saturação por bases do solo até 54,8 %. Na 5ª aproximação (CFSEMG,1999), recomenda-se, para o estabelecimento dessas gramíneas, a elevação da saturação por bases para 45-50 % no Tanzânia e 45 % no Marandu. Mas é importante ressaltar que o capim-marandu é altamente adaptado a solos ácidos (MONTEIRO e EUCLIDES, 2005).

A calagem promove a neutralização do Al tóxico na camada arável (Orlando filho *et al.*, 1990), bem como em subsuperfície, possibilitando a desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, promovendo o crescimento das gramíneas. O solo em condição ácida pode comprometer a produtividade das culturas por muito tempo, logo, no estabelecimento das pastagens tropicais, a calagem adequada se torna fundamental (PRADO *et al.*, 2003).

A toxidez de alumínio é devido a dificuldade na absorção e transporte de diferentes macronutrientes como o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio. Já o excesso de manganês, além de diminuir a absorção de micronutrientes catiônicos, reduz a síntese de clorofila e inibe reações ativadas pelo magnésio. Ambos os processos podem ser evitados com o emprego da calagem (MALAVOLTA, 1984).

[Digite texto]

O subdesenvolvimento das plantas e a baixa produtividade das culturas em solos ácidos pode ser em função da toxidez do alumínio. Em pH menor que 5,5 os compostos de alumínio tornam-se solúveis e os íons de alumínio passam a ser reativos, interferindo nas funções biológicas das plantas e provocando a morte das mesmas (MALAVOLTA, 1984). Nas regiões tropicais, grande parte dos solos são ácidos. Nessas áreas há intensa lixiviação de bases trocáveis, ausência de minerais primários e secundários que são responsáveis pela reposição dessas bases (MALAVOLTA, 1993).

Ciotta *et al.* (2004) avaliaram o efeito da aplicação de calcário nos componentes da acidez das fases sólida e líquida de um Latossolo Bruno alumínico em plantio direto. Os autores concluíram que a calagem promoveu melhoria no ambiente químico do solo, evidenciada pela elevação do pH em água, dos teores de Ca e Mg trocáveis e em solução, da saturação por bases, bem como pela diminuição dos teores de Al trocável.

De acordo com Malavolta (1984), o próprio cultivo agrava o problema, pois as plantas ao absorverem cátions, deixam quantidades equivalentes de íons de hidrogênio. Mesmo não sendo o único responsável pela acidez do solo, o hidrogênio influencia diretamente na solubilidade dos nutrientes. A remoção de cátions trocáveis exige a substituição dos mesmos para satisfazer o equilíbrio de cargas entre fase sólida e os próprios íons trocáveis. Quando ocorre a inclusão de hidrogênio, a acidificação inicia-se e acentua-se à medida que mais hidrogênio é adsorvido pelo solo (MELO, 1984).

A resposta química do corretivo depende de fatores inerentes ao solo, ao ambiente e ao manejo adotado como umidade, condições físicas do solo, topografia, temperatura, época de aplicação, dose aplicada, fase de desenvolvimento da cultura, tempo disponível para o corretivo reagir, dentre outros (MALAVOLTA, 1997).

[Digite texto]

Albuquerque *et al.* (2003) estudaram o efeito da aplicação de calcário e fósforo (P) sobre o comportamento estrutural de um solo ácido com altos teores de argila e matéria orgânica, típico do planalto sul brasileiro. Constataram que a calagem melhorou o ambiente edáfico na camada analisada, ao elevar o pH do solo, os teores de Ca e Mg trocáveis, a soma de bases e a capacidade de troca catiônica (CTC). A adição de calcário, apesar de aumentar a dispersão da argila, não comprometeu a qualidade física desse solo argiloso com alto tamponamento. Relataram ainda que essas alterações nos atributos físico-químicos dos colóides de solo não interferiram, entretanto, sobre a estabilidade estrutural o que pode estar relacionado com o efeito indireto da calagem sobre a agregação graças ao maior aporte de resíduos vegetais ao solo e do estímulo à atividade biológica do solo, além da própria adição de Ca.

Alcarde (1983) acrescenta, ainda, que a velocidade de reação desses corretivos no solo, neutralizando a acidez, depende do tamanho de suas partículas e da natureza química dos seus constituintes neutralizantes.

Em condições de cerrado, Lopes (1984) ainda indica os seguintes efeitos: aumento das cargas dependentes de pH e conseqüentemente a capacidade de troca de cátions e a indução, dependendo da dose de calcário aplicada, a considerável lixiviação de cálcio e de magnésio, o que diminui a toxidez de alumínio, de ferro e de manganês, abaixo da camada de incorporação.

Cuidados devem ser tomados para que o pH não alcance valores superiores a 6,5–7,0 porque nesses níveis a disponibilidade de alguns micronutrientes (com exceção do molibdênio e do cloro) foi bastante comprometida (PENATI e CORSI, 1999). Todavia, em solos tropicais sob pastagens é raro encontrar valores altos de pH, mesmo realizando-se calagem com frequência.

Couto *et al.* (1985) trabalharam com *Andropogon gayanus* em resposta a doses de calcário e de fósforo. Na área corrigida foram necessários apenas 60 Kg

[Digite texto]

ha⁻¹ de P₂O₅ para produzir 4,4 t ha⁻¹ de matéria seca e na área sem calagem para obter mesma produtividade foi necessária a dose de 180 kg ha⁻¹ desse adubo. Portanto, deve-se considerar o benefício da calagem na economia com fertilizantes.

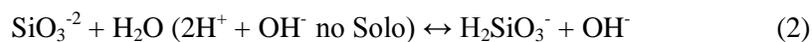
Lopes (1984) chamou a atenção para a falta de adoção de tecnologias simples nos sistemas agrícolas, com a afirmação de que a subutilização de calcário é uma das principais causas do desperdício de fertilizantes químicos na agricultura brasileira, desenvolvida em solos com características tipicamente ácidas.

2.2 Silício e ocorrência no solo

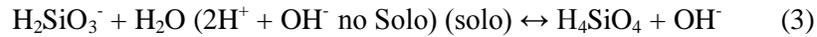
Os minerais silicatados são os mais abundantes na composição mineralógica dos solos, a proporção de silício (Si) na litosfera é cerca de 60 %, expresso em SiO₂ (JACKSON, 1979). O silício está presente principalmente na forma de mineral primário e secundário inerte das areias, quartzo, caulinita e outros minerais de argila.

Os solos de regiões tropicais são altamente intemperizados, pobres em bases, caracterizados pela alta dessilicatização e quantidades elevadas de sesquióxidos de ferro e alumínio (KORNDÖRFER, *et al.*, 2002).

Na solução do solo, o H₄SiO₄ comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que, em pH 7,0, apenas 0,2 % ioniza-se na forma carregada negativamente SiO(OH)³⁻, diminuindo o grau de ionização com o aumento do pH (MCKEAGUE e CLINE, 1963). A ação neutralizante do silicato na solução do solo pode ser explicada, segundo a equação que se segue, adaptada de Alcarde (1992).



[Digite texto]



O teor de Si na solução do solo, na forma de ácido silícico está entre 3,5 e 40 mg L⁻¹ (MARSCHNER, 1995). As principais formas de silício presentes no solo são silício solúvel, prontamente absorvido pelas plantas, que é desprovido de carga elétrica; silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio; minerais silicatados; silício polimerizado; silício orgânico e silício na forma de fitólitos. Nos solos intemperizados a sua disponibilidade é muito pequena para as plantas, o que impede que a produtividade alcance melhores resultados. Uma gama de escórias tem sido aplicada em várias partes do mundo na tentativa de suprir tal deficiência.

Muitos pesquisadores consideram o Si nutriente essencial para algumas culturas, principalmente para as gramíneas, nas quais os teores desse elemento chegam a ser de dez a vinte vezes maiores do que em dicotiledôneas (RAIJ, 1991).

2.3 Condições do solo e mecanismos de absorção pelas plantas

Praticamente todas as plantas contêm Si em seus tecidos, porém sua concentração varia entre as espécies. O acúmulo desse nutriente é bastante relativo, pois a composição química de uma planta é inerente à espécie e às condições edafoclimáticas as quais ela foi imposta. As plantas podem ser classificadas como acumuladoras de Si, intermediárias e espécies exclusoras ou não acumuladoras de Si (TAKAHASHI *et al.*, 1990). A habilidade das raízes das plantas em absorver o Si é que dita a diferença na taxa de acumulação entre uma espécie e outra.

Foram sugeridos três modos de absorção de Si, ativa, passiva e rejeitiva, respectivamente, acumuladoras, intermediárias e exclusoras de Si (TAKAHASHI *et al.*, 1990). A absorção de Si pelas plantas se dá na forma de

[Digite texto]

ácido monossilícico (H_4SiO_4), forma solúvel, e depende da concentração na solução do solo. Em muitas gramíneas, o Si do solo é absorvido pela planta na proporção em que este componente está presente na solução do solo.

O funcionamento do sistema solo depende das condições iniciais, da magnitude e da continuidade dos fluxos de matéria e de energia e da interação entre seus subsistemas químico, físico e biológico e desses com os sistemas vegetal, atmosférico e antrópico (NICOLODI *et al.*, 2008).

A absorção do Si da solução do solo dá-se de forma passiva pelas gramíneas, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas (RAIJ, 1991).

Na planta o Si é transportado via xilema e sua distribuição nos tecidos depende da taxa de transpiração da planta. Em sua maioria é depositado na forma de silício polimerizado, o qual é de difícil solubilização, se acumula nas paredes das células e nos espaços intercelulares das raízes e folhas (YOSHIDA *et al.*, 1962; YOSHIDA, 1965). O Si também é encontrado na forma de ácido monossilícico, ácido silícico coloidal e compostos de organossilicone no tecido das plantas (YOSHIDA *et al.*, 1962).

Pesquisas exploraram sobre os mecanismos de absorção do Si nas culturas do arroz, trigo, cana-de-açúcar e pepino. Formas de absorção do Si em vegetações naturais e forrageiras cultivadas devem nortear novos estudos na área de nutrição e fertilidade de solos.

2.4 O silício como corretivo de solos

Tradicionalmente, o corretivo de acidez do solo mais utilizado é o calcário, entretanto, é crescente o interesse por materiais alternativos como os corretivos à base de silicatos. Os produtores buscam produtos capazes de elevar a produtividade das culturas. Uma das fontes mais abundantes e de baixo custo

[Digite texto]

dos silicatos no Brasil é a escória de siderurgia, subproduto das indústrias do ferro e do aço (PRADO *et al.*, 2001).

As escórias possuem alta concentração de Ca e Mg, e desta forma também podem ser usadas na correção da acidez do solo (ALVES *et al.*, 2007) constituindo uma alternativa para o aproveitamento de subprodutos das siderurgias. A escória apresentou liberação mais lenta de nutrientes, quando comparada ao calcário, em solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos (PRADO e FERNANDES, 2000). No Hawaii, Khalid *et al.* (1978) aplicaram um silicato em diferentes condições de acidez do solo (pH = 5,5; 6,0 e 6,5) em sistema de rotação de culturas (cana-de-açúcar, milho e desmodium) e os autores constataram que houve efeito residual significativo do silicato no solo (teores de Si), após 56 meses, sendo maior na dose mais elevada.

É possível que o maior efeito residual dos silicatos no solo, com o uso da escória, seja devido a um equilíbrio químico, ou seja, com a solubilização da escória, obtém-se um incremento inicial do valor pH e da concentração de Ca. Esse aumento pressupõe decréscimos na dissolução da escória, uma vez que a solubilidade desse material em solução aquosa diminui com o aumento do pH e da concentração de Ca da solução (KATO e OWA, 1996).

Souza *et al.* (2009) estudaram as características químicas do solo, da *Brachiaria Brizantha cv. Marandu* sob diferentes doses de silicato de cálcio, verificaram que a aplicação de doses crescentes do corretivo promoveu o incremento do pH, dos teores de cálcio e Si no solo.

Salienta-se que a escória de siderurgia é, atualmente, pouco usada na agricultura brasileira, contrariamente ao que ocorre nos Estados Unidos, Japão e China. No Brasil, existem pesquisas com o uso desse resíduo como corretivo de acidez e sua relação com a resposta das culturas, especialmente as anuais, como arroz, sorgo e milho (PRADO *et al.*, 2001). Há indicações favoráveis de

[Digite texto]

aplicação desse resíduo no desenvolvimento inicial de culturas como a cana-de-açúcar e forrageiras (PRADO e FERNANDES, 2000).

Além dos benefícios às culturas, existe a possibilidade de reaproveitamento de parte da escória de siderurgia, contribuindo para diminuir os problemas ambientais de acúmulo desse material (PIRES e MATTIAZZO, 2008).

2.5 Silicatagem: efeito no solo e sobre as características das plantas

O elemento Si tem demonstrado efeitos benéficos em várias espécies vegetais, especialmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (DATNOFF *et al.*, 2001; KORNDÖRFER *et al.*, 2002).

A silicatagem está entre as técnicas indicadas para esse fim, dentre os benefícios da adição do silício em culturas anuais e forrageiras estão o espessamento da parede celular (SANTOS BOTELHO *et al.* 2005); benefício ao solo (KORNDÖRFER *et al.*, 2004); aumento da produtividade (SILVEIRA JÚNIOR *et al.* 2003; VILELA *et al.*, 2007); controle de pragas e doenças (POZZA *et al.*, 2004; SOUZA, *et al.* 2009; NERI *et al.*, 2009); transpiração e, possivelmente, alguns aspectos de eficiência fotossintética (DEREN, 1999); e influência nas condições químicas do solo (SOUZA *et al.* 2009) e da planta (SILVA *et al.*, 2005). Tanto maiores poderão ser os benefícios proporcionados à planta quanto maior a quantidade de Si absorvida pela mesma (Kondörfer *et al.* 2002), já que este elemento não causa danos às plantas quando acumulado em grandes quantidades (MA *et al.* 2001).

Na década de 40, observou-se efeito do silício no controle de doenças em plantas (BELANGE e MENZIES, 2003). As gramíneas, plantas

[Digite texto]

acumuladoras desse nutriente, foram as primeiras a serem estudadas. Pesquisadores já concluíram que a redução do ataque de patógenos, em culturas tratadas com silício, pode ser devido à formação de barreira estrutural na planta, evitando a penetração do mesmo. Souza *et al.* (2009) estudaram a população de ninfas do percevejo castanho das raízes de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf. Cv. Marandu com diferentes doses de silicato de cálcio. Eles verificaram que a aplicação de 2,6 t ha⁻¹ de silicato foi a melhor dosagem estimada para a redução de ninfas do percevejo castanho das raízes.

O silício é encontrado nas paredes celulares dos vegetais (YOSHIDA, 1965). Atualmente, são aceitas três hipóteses para o controle de doenças em plantas tratadas com Si. A primeira, hipótese da barreira física ou mecânica, fundamenta-se no acúmulo de silício na epiderme e parede celular. Fawe *et al.* (2001) ressaltam que o silício sofre polimerização nos espaços extracelulares das paredes das células epidérmicas das folhas e dos vasos do xilema através de movimento ascendente via apoplasto desde as raízes até as folhas. O silício depositado nos tecidos da epiderme inibe o crescimento das hifas dos fungos, inibindo a penetração do tubo germinativo do fungo (BELANGER *et al.*, 1995; DATNOFF *et al.*, 1997).

A segunda, hipótese da barreira química, podendo agir como um elemento indutivo de mecanismos de defesa da planta, sintetizando ácidos fenólicos, lignina, suberina, e calose na parede celular (VIDHYASEKARAN, 1997; MENZIES *et al.*, 1991).

Parece que há a possibilidade de ambas as hipóteses se complementarem, ou seja, em algumas situações, tanto a resistência mecânica como a indução de resistência poderia atuar conjuntamente contra o ataque de pragas e doenças em plantas.

Em arroz, o Si foi depositado principalmente na parede celular, abaixo da cutícula, aumentando a rigidez da célula e podendo elevar os conteúdos de

[Digite texto]

hemicelulose e lignina (DATNOFF *et al.*, 2001; SANTOS BOTELHO *et al.*, 2005). Esses fatores contribuíram para a redução da severidade da bruzone nas folhas de arroz inundado no Estado do Tocantins e na Flórida. Além da redução na severidade da bruzone, o aumento das doses de metassilicato de 1000 para 6000 kg ha⁻¹ promoveu aumento linear na produção de grãos.

Para estudos com efeito de silicatos, não somente as gramíneas, mas culturas como café, feijão e abóbora também estão sendo estudadas, tendo sido observados resultados positivos com a silicatagem. Moraes *et al.* (2009) estudaram o efeito do suprimento de silicato de cálcio sobre a antracnose na cultura do feijoeiro e perceberam que o mesmo reduziu a incidência da doença. Com o aumento das doses de silicato de cálcio, observou-se decréscimo nos teores de K, Mg, S, Zn e Ca e aumento no teor de Si. O silício acumulou-se nas nervuras das folhas, principal região de ocorrência da antracnose do feijoeiro.

Assim, de maneira geral, os efeitos positivos do Si também podem melhorar a adaptação das plantas às condições de estresses bióticos, como ataque de fitopatógenos, e abióticos, como estresse hídrico, toxidez de metais (Mn, Cu, Cd, etc) e salinidade (HECKMAN *et al.*, 2003; ZHU *et al.*, 2004).

O Si se acumula nos espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, aumentando assim a economia de água da planta pela diminuição da taxa de evapotranspiração (MELO *et al.*, 2003). O aparecimento de sarda nas folhas de cana-de-açúcar foi explicado pela deficiência de Si, e não pela toxidez de ferro ou manganês. (CHEONG *et al.* 1973).

Os benefícios resultantes da silicatagem nas culturas, como o controle de pragas e doenças, estresse hídrico, melhoria das condições químicas do solo, espessamento da parede celular, dentre outros, melhoram indiretamente o rendimento na colheita. Isso é desejável, uma vez que o objetivo final do

[Digite texto]

produtor é incrementar produtividade (SANTOS *et al.*, 2003; JULIATTI *et al.*, 2004).

Vilela *et al.* (2007a), trabalhando com níveis de silicato de Ca em capim-elefante cv. Paraíso (*Pennisetum purpureum* x *P. glaucum*) obtiveram produção de 11,75 t ha⁻¹ de MS na dose de 500 kg ha⁻¹ de silicato de Ca, sendo superior em 15,19 % ao tratamento-controle. Os autores não observaram aumento significativo da produção de MS quando a dose do corretivo foi aumentada para 1.000 kg ha⁻¹.

Em certas situações, o silicato substitui o calcário com várias vantagens, pois é também um fertilizante. A produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. marandu cultivada em solo corrigido com silicato de cálcio foi 51 % maior quando comparada à produção da pastagem corrigida com calcário, em diferentes densidades do solo (SILVA, *et al.*, 2009). Por outro lado, Fonseca *et al.* (2009) avaliaram os efeitos da escória comparados ao calcário e observaram que os materiais corretivos se diferenciaram apenas no 2.º corte, destacando-se a escória de siderurgia com incremento linear na absorção de Si e na produção de massa seca do capim-marandu.

A correção do solo geralmente promove aumento na produção de massa seca das forrageiras, mas o silicato de cálcio incrementa a produção de braquiárias em relação ao calcário. Após a aplicação superficial de 2 t ha⁻¹ de silicato de Ca, Korndörfer *et al.* (2001) verificaram aumento de 17 % na produção de MS em *B. decumbens* com experimento de campo conduzido na região do Triângulo Mineiro. Silveira Júnior *et al.* (2003) também registraram aumentos de produtividade de colmos na cana-planta e cana-soca com o uso de silicato, sendo esses aumentos superiores aos efeitos do calcário.

Leite *et al.* (2008) avaliaram a aplicação de silicato de cálcio no sulco de plantio da cana-de-açúcar, e concluíram que, independente de fontes e doses utilizadas, o corretivo proporcionou um aumento no teor de fibra da cana, mas

[Digite texto]

não influenciou o rendimento de colmos e de açúcar total recuperável, assim como os teores de Brix, pol e pureza. Souza *et al.* (2009) estudaram a produção de matéria seca em *B. brizantha* cv. Marandu sob diferentes doses de silicato de cálcio e verificaram que a aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio no solo promoveu aumento na produção de matéria seca de *B. brizantha*.

2.6 Influência da Silicatagem na composição química e digestibilidade do capim-marandu

É notório que a silicatagem proporciona inúmeros benefícios às pastagens, corrigindo a acidez e a fertilidade do solo, e consequentemente melhorando as condições fisiológicas, bioquímicas e metabólicas da forrageira (DATNOFF *et al.*, 2001; KORNDÖRFER *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2003; SILVEIRA JÚNIOR *et al.* 2003; SILVA *et al.*, 2005; SANTOS BOTELHO *et al.* 2005; VILELA *et al.*, 2007; SOUZA, *et al.*, 2009; SOUZA, *et al.* 2009; MORAES *et al.*, 2009; SOUZA *et al.* 2009). Contudo, ainda não está bem definida a dinâmica do silício no solo e na planta, bem como seu efeito sobre a qualidade e digestibilidade da biomassa ingerida.

Sanches (2003) testou o efeito de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio aplicados como corretivo sobre as características do solo e da *B. brizantha* cv. Marandu. Ele concluiu que os níveis de silicato influenciaram a quantidade de silício depositada na folha, entretanto não houve efeito sobre os níveis médios de FDN e FDA na planta, além de ter observado efeito positivo sobre os teores de Ca no solo.

Vilela *et al.* (2007a) também trabalharam com níveis de silicato de Ca e Mg (0, 500 e 1000 kg ha⁻¹) e doses de N (0, 35, 70 kg ha⁻¹) em capim-elefante cv. Paraíso (*Pennisetum hybridum*). Em relação aos teores de FDN da forrageira, os mesmos aumentaram com adição de doses crescentes de silicato, mas não

[Digite texto]

foram afetados pelas doses de N junto com silicato. A testemunha apresentou menor valor de FDN, NDT, Si e digestibilidade *in vitro* da MS. A digestibilidade foi menor na ausência de silicato e menor ainda na ausência de silicato e N em cobertura. Nos tratamentos com silicato, a digestibilidade não foi afetada pelos níveis de silicato e doses de N.

Santana *et al.* (2010) analisaram os atributos químicos do solo, o potencial produtivo e a composição química do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) em solo corrigido com diferentes doses de calcário e escória silicatada. Tanto a escória quanto o calcário proporcionaram aumento do pH do solo, refletindo no aumento da disponibilidade de nutrientes como cálcio e magnésio. O capim-braquiária não respondeu em produção de MS e teores de FDA aos tipos e doses de corretivos avaliados.

Geraseev *et al.* (2008) e Marinho (2007) concluíram que a adição de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio ao solo não afetou a fração solúvel (a), potencialmente degradável (B), na taxa de degradação da fração b (c), na degradação potencial e na degradação efetiva a 2 e 5%/h da matéria seca do *Andropogon gayanus*. Entretanto, Geraseev *et al.* (2008) observaram que a degradação média da MS diminuiu com a aplicação de 600 kg ha⁻¹ do silicato.

Van Soest (1981) comprovou que a qualidade das forragens como alimento está diretamente relacionada à sua composição nutricional, aliada a possíveis fatores antinutricionais, os quais geralmente estão envolvidos na proteção da planta contra a predação e biodegradação. De acordo com conclusões do mesmo autor, a concentração de lignina pode ser considerada como o principal fator da planta responsável pela redução da digestibilidade das forragens, podendo ocorrer o mesmo com elevação da concentração de sílica.

Jones e Handreck (1967) propõem o mecanismo da redução da digestibilidade, literalmente, já que a sílica, assim como a lignina, faz parte da

[Digite texto]

matriz da parede celular e ambas reduziriam o acesso dos microrganismos ruminais aos carboidratos da parede celular.

Para Van Soest (1994), o efeito do silício sobre a qualidade das forragens ainda gera dúvidas devido ao fato que plantas com diferentes teores de sílica também apresentam diferentes teores de outros componentes importantes que afetam a digestibilidade como os teores de lignina, arranjos diferenciados de fibrilas de celulose e a relação C/N. Assim o ideal é avaliar o efeito do silício sobre a digestibilidade de plantas da mesma espécie, no mesmo estágio de desenvolvimento e com a mesma disponibilidade de nutrientes, mas com teores contrastantes desse elemento.

2.7 Fontes de silício disponíveis no mercado

O silício teve sua comercialização regulamentada como fertilizante, passando a ser considerado "micronutriente" através da Portaria 4.954 de 14 de janeiro de 2004 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. No mercado brasileiro, algumas fontes de silício são disponibilizadas, tais como Recmix, Agrossilício, Silifétil, Siligran, dentre outras. Tais fontes são empregadas como corretivo de acidez do solo. Alves *et al.* (2007) verificaram que esses produtos apresentam teores de Ca e Mg superiores aos calcários usualmente empregados.

Alguns subprodutos da indústria siderúrgica, contendo silicatos e óxidos de cálcio e/ou de magnésio, têm valor neutralizante. Sua ação neutralizante se deve à quantidade de ácido que o mesmo é capaz de neutralizar, o que depende de sua natureza química e grau de pureza. O poder de neutralização (PN) e o poder relativo de neutralização total (PRNT) variam entre os produtos disponíveis no mercado (VILELA, *et al.*, 2007b).

Ramos (2003), estudando o efeito corretivo de silicatos e calcário, observou que as fontes Recmix e termofosfato foram mais eficientes no aumento

[Digite texto]

de pH do solo que o calcário. Fonseca *et al.* (2009), trabalhando com escória de siderurgia e calcário na presença de nitrogênio, notaram maior concentração de Si “disponível” no solo tratado com a escória em relação ao calcário, em todas as épocas de amostragem.

Existem inúmeros trabalhos que mostraram a eficiência desses produtos sobre o solo, a produtividade das plantas e o meio ambiente (MAUAD *et al.*, 2003.; PRADO *et al.*, 2003; FONSECA *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2009; BRASIL *et al.*, 2009); no entanto, ainda são poucos os trabalhos testando o seu efeito sobre a composição química e a digestibilidade das forrageiras. Por outro lado, existe diferença entre fontes de silício disponíveis em função da variabilidade na composição, afetando a qualidade do corretivo e consequentemente a fitomassa produzida.

[Digite texto]

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condução do experimento

O experimento foi realizado na fazenda experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Avançado de Janaúba – MG, em uma área de pastagens com capim-marandu. O clima é do tipo Cw, segundo classificação de Koeppen, 1900). O período experimental foi entre o mês de maio de 2012 e novembro de 2012.

O experimento foi conduzido em um solo da classe Latossolo Vermelho Distrófico, caracterizado por textura argilosa, pH ácido, baixa saturação por bases e concentração média de alumínio. A amostragem do solo foi feita em zigue-zague na profundidade de 0-20 cm com trado do tipo holandês no mês de abril de 2012. As amostras foram homogeneizadas obtendo-se uma única amostra composta, a qual foi encaminhada ao laboratório de Solos da EPAMIG, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha – MG, para caracterização química quanto aos teores de macro e micronutrientes (Tabela 1).

[Digite texto]

TABELA 1 – Resultados da análise química do solo da área experimental, realizada em abril de 2012. EPAMIG, Nova Porteirinha, MG.

Atributos Químicos	Valor
pH em água – acidez ativa do solo	5,0
K (mg dm ⁻³) - Potássio disponível	96,0
Ca (cmolc dm ⁻³) - Cálcio Trocável	1,4
Mg (cmolc dm ⁻³) – Magnésio Trocável	0,5
Al (cmolc dm ⁻³)	0,6
H + Al (cmolc dm ⁻³)	4,3
SB (cmolc dm ⁻³) – Soma de Base	2,3
t (cmolc dm ⁻³) - Capacidade de troca catiônica efetiva	2,9
T (cmolc dm ⁻³) – Capacidade de troca catiônica a pH=7	6,5
V (%) – Saturação por base	35,0
m (%) – Saturação por alumínio	21,0
P (mg dm ⁻³) – Fósforo disponível	29,8
MO (dag kg ⁻¹) – Matéria orgânica	1,8
S (mg dm ⁻³) – Enxofre	29,8
Zn (mg dm ⁻³) – Zinco	0,4
Cu (mg dm ⁻³) – Cobre	0,8
B (mg dm ⁻³) – Boro	0,3

Extrator: Mehlich¹.

O preparo do solo na área experimental foi do tipo convencional, realizado em duas etapas, uma aração e uma gradagem. Posteriormente, foi feita a casualização das parcelas nos blocos para a aplicação da respectiva fonte e dose do corretivo em cada parcela. De acordo com os resultados da análise de solo, foram feitos os cálculos e realizada a correção do solo com duas diferentes fontes de Silicato de cálcio (Agrossilício, Silmag) em 4 doses (400, 800, 1600, 2400 kg ha⁻¹) e também com o calcário magnésiano na dose de 760 kg ha⁻¹, já

[Digite texto]

que apresenta teores de CaO semelhantes ao Silicato, com a finalidade de isolar o efeito do Ca nas parcelas onde se estudará o efeito do Si na planta nos tratamentos (Tabela 2).

TABELA 2 – Fontes, origem e composição dos corretivos.

Fonte	Origem	Teor de silício (%)		%CaO	%MgO	%PRNT
		Total	Solúvel*			
Escória de aço inoxidável	Agrossilício Harsco Minerais	23,20	43,4	41,00	11,00	84,00
Subproduto magnésiano	Rima – SILMAG	24,00	53,00	52,00	9,00	85,40
Calcário magnésiano	Rima – SILMAG	-	-	42,00	10,00	100,00

*Percentual do Si total solúvel em $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$. ** Equivalente em CaCO_3
Fonte: Adaptado de Korndorfer (2007).

Decorridos 40 dias da correção do solo, foi realizada a semeadura a lanço manualmente do capim-marandu considerando 10 kg ha^{-1} a $0,01 \text{ m}$ de profundidade. O sistema de irrigação foi fixo por aspersão, as irrigações quando necessárias eram realizadas duas ou três vezes por semana, com objetivo de manter o solo na capacidade de campo.

No momento da semeadura, conforme recomendação da 5ª aproximação (CFSEMG, 1999), foi feita adubação fosfatada, nitrogenada, sulfurada e de micronutrientes nas respectivas doses do nutriente por hectare e fontes, 70 kg de superfosfato simples, 70 kg de sulfato de amônio e 2 kg de sulfato de zinco.

A área experimental utilizada correspondeu a 36 parcelas de $1,5 \text{ m}$ de largura e $4,0 \text{ m}$ de comprimento, com bordadura de $0,25 \text{ m}$. Portanto, foram disponibilizados $6,0 \text{ m}^2$ por parcela totalizando 276 m^2 de área experimental

[Digite texto]

total. O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de $4 \times 2 + 1$, constituído de 4 níveis de silicato de cálcio ($400\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $800\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $1600\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $2400\text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), duas fontes de silício (Agrossilício e Silmag) e uma testemunha (calcário magnesiano) na dose exigida para correção do pH ($760\text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e conforme exigências da forrageira de acordo com análise do solo e interpretação segundo 5ª aproximação (CFSEMG, 1999), com quatro repetições (blocos).

As plantas invasoras foram controladas com herbicida específico levando-se em conta sua fisiologia e caracterização botânica.

Quando as plantas atingiram altura média de 30 a 40 cm (aproximadamente 110 dias), foi realizado um único corte, manualmente, deixando 10 cm de altura de resíduo. A colheita foi realizada pelo método do quadrado lançado ao acaso na pastagem. Posteriormente, o material foi identificado, acondicionado e pesado em balança digital e os valores obtidos calculados para obtenção da produção de matéria verde em t ha^{-1} de cada tratamento.

3.2 Análises químicas

Após cálculo de produção de matéria verde, as amostras foram levadas ao laboratório de Bromatologia da UNIMONTES, posteriormente pré-secas em estufa com ventilação forçada a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas. As mesmas foram retiradas da estufa, deixadas por 24 horas em temperatura ambiente, e pesadas para a determinação da matéria pré-seca. As amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário "Thomas-Wiley", modelo 4, utilizando-se peneira de 2 milímetro (mm). Em seguida, foram retiradas amostras de aproximadamente

[Digite texto]

300 g de cada parcela e guardadas em frascos com tampa para as análises químicas subsequentes.

As amostras pré-secas foram utilizadas para determinação dos teores de matéria seca (MS) conforme a AOAC (1990). A proteína bruta (PB) foi determinada pelo método Kjeldhal (AOAC, 1990). O nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram determinados utilizando-se os resíduos da FDN e FDA, respectivamente, repetindo o processo de determinação de proteína bruta, segundo Silva e Queiroz (2002).

As concentrações de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina foram feitas pelo método sequencial segundo as técnicas descritas por Van soest *et al.* (1991). Para determinação dos teores de celulose foi usado ácido sulfúrico a 72 % (VAN SOEST, 1994). Foi adotado o método sequencial de análises de fibra para que não houvesse contaminação da pectina na FDA das amostras. Os teores de hemicelulose foram calculados por diferença entre FDN e FDA. Foi obtida a relação FDN/FDA. A análise de matéria mineral (MM) foi feita consoante recomendações de Silva e Queiroz (2002).

3.3 Avaliação da cinética da degradação ruminal

Das amostras processadas e utilizadas para se determinar a composição química foi retirado material para se fazer o ensaio de degradabilidade (NRC, 2001) *in situ*. Essas amostras foram acondicionadas em sacos de fibra sintética do tipo TNT, gramatura 100 μm , na quantidade de, aproximadamente, 2,1 g de MS saco⁻¹, a fim de manter uma relação próxima a 20 mg de MS cm⁻² de área superficial do saco (NOCEK, 1988).

Primeiramente, os sacos foram colocados em estufas a 55 °C com ventilação forçada por 48 horas, retirados e colocados em dessecador até

[Digite texto]

resfriarem, sendo então pesados. Posteriormente, as amostras da gramínea foram colocadas nos sacos. Em seguida os sacos foram fechados e colocados em estufa com ventilação forçada a uma temperatura de 55 °C com ventilação forçada durante 24 horas, e depositados em dessecador para resfriarem e serem novamente pesados.

Foram utilizados dois novilhos mestiços, fistulados no rúmen e com peso médio de 420 kg. Os animais foram confinados na fazenda experimental do departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, Campus avançado de Janaúba–MG, os quais receberam 3,0 kg cabeça dia⁻¹, divididos em duas porções iguais pela manhã e à tarde. Além do concentrado, os novilhos receberam volumoso à base de cana.

Os sacos foram colocados em sacola de filó, medindo 15 x 30 cm, juntamente com pesos de chumbo de 100 g. As sacolas foram amarradas com fio de náilon, deixando um comprimento livre de 1 m para que as mesmas tivessem livre movimentação nas fases sólidas e líquidas do rúmen. A sacola foi então depositada na região do saco ventral do rúmen do animal, permanecendo a extremidade do fio de náilon amarrado à cânula.

Foram colocados 72 sacos por tempo de incubação (0, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas) em cada animal, em ordem inversa e em duplicata, para serem retirados todos ao mesmo tempo, promovendo, dessa forma, lavagem uniforme do material por ocasião da retirada do rúmen. Foram confeccionados 2 sacos/amostra/animal/tempo, perfazendo um total de 1008 sacos.

Após o período de incubação total, as sacolas de filó foram retiradas do rúmen, abertas e os sacos de TNT foram retirados do rúmen, lavados, imediatamente, em água corrente até que esta se apresentasse limpa, procedendo-se, então, à secagem em estufa a 55 °C por 72 horas, resfriados, dessecado e pesados.

[Digite texto]

Os sacos referentes ao tempo zero, para determinar a fração prontamente solúvel, foram introduzidos na massa ruminal e imediatamente retirados, recebendo, então, o mesmo tratamento destinado aos demais tempos.

Os alimentos e os resíduos remanescentes nos sacos de náilon, recolhidos no rúmen, foram analisados quanto ao teor de MS em estufa a 55 °C por 72 horas. O resíduo obtido após essa etapa foi utilizado para as análises de FDN, segundo metodologias descritas por Silva e Queiroz (2002).

Os dados de degradabilidade *in situ* da MS e FDN foram obtidos pela diferença de peso encontrada, para cada componente, entre as pesagens efetuadas antes e após a incubação ruminal, e expressos em porcentagem.

Com o auxílio do programa estatístico SAS (SAS Intitute, 2004), foram calculadas as taxas de degradação da MS utilizando-se a equação proposta por Ørskov e McDonald (1979): $D_t = A + B \times (1 - e^{-ct})$, em que: D_t = fração degradada no tempo t (%), A = fração solúvel (%); B = fração insolúvel potencialmente degradável (%); c = taxa de degradação da fração B (h^{-1}); em função do tempo de incubação t (h). A degradabilidade da FDN foi estimada pelo modelo de Mertens e Loften (1980): $R_t = B \times e^{-ct}$, sendo R_t = fração degradada no tempo t ; B e C = como definidas anteriormente.

Após os ajustes da equação de degradação da FDN, procedeu-se à padronização de frações, segundo a proposição de Waldo *et al.* (1972), conforme as equações: $BP = B/(B+I) \times 100$; $IP = I/(B+I) \times 100$, em que: BP = fração potencialmente degradável padronizada (%); IP = fração indigestível padronizada (%); e B , I = como definidas anteriormente.

Os coeficientes não lineares A , B e c foram estimados por meio de procedimentos iterativos de Gauss-Newton, sendo as médias comparadas por meio de intervalo de confiança com 95 % de confiança.

A degradabilidade efetiva (DE) da MS no rúmen foi calculada conforme o modelo: $DE = A + (B \times c/c+k)$, em que: k corresponde à taxa estimada de

[Digite texto]

passagem das partículas no rúmen. Para a DE da FDN, adotou-se o modelo: $DE = BP \times c / (c+k)$, em que: BP é a fração potencialmente degradável (%) padronizada.

3.4 Análise estatística

Depois de obtidos todos os dados do rendimento, composição química e os parâmetros de degradabilidade, eles foram submetidos à análise de variância por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011), e quando a média apresentou significância para o teste de “F”, as mesmas foram comparadas pelo teste de “F” e doses submetidas ao estudo de regressão ao nível de 5% probabilidade e, quando houve interação entre estes fatores, procedeu-se da mesma forma citada anteriormente. Para comparação dos tratamentos fontes e doses de Si em relação à testemunha (calcário), usou-se o teste de Dunnett ao nível de 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento e Composição química da forragem

Para o rendimento de matéria natural (RMN), quando se compara os tratamentos com a testemunha (calcário), observa-se (TABELA 3) que apenas o agrossilício na dosagem 400 kg ha^{-1} superou ($p < 0,05$) o calcário, sendo que este mesmo comportamento foi verificado para a produção de matéria seca (PMS).

Já para o teor de matéria seca (MS), apenas as dosagens de 400, 800 e 1600 kg ha^{-1} de agrossilício apresentaram resultados superiores ($p < 0,05$) à testemunha, enquanto que a testemunha superou ($p < 0,05$) o silmag nas doses de 400 e 2400 kg ha^{-1} para o teor de MS.

Entretanto, entre as fontes de Si, o Silmag apresentou 2,61 e $3,43 \text{ t ha}^{-1}$ de RMN nas doses de 800 e 2400 kg ha^{-1} a mais que o agrossilício, respectivamente. O Agrossilício nas doses de 400 e 1600 kg ha^{-1} foi superior ao silmag 8,45 e $1,94 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

Observa-se que houve diferença no teor de MS entre fontes de Si de mesma dose, sendo que o agrossilício apresentou-se superior 1,09 %, 1,25 % e 0,65 % ao silmag nas doses de 400, 800 e 1600 kg ha^{-1} , respectivamente. O agrossilício apresentou 2,59 e $0,39 \text{ t ha}^{-1}$ de PMS nas doses de 400 e 1600 kg ha^{-1} a mais que o silmag, respectivamente. O silmag nas doses de 800 e 2400 kg ha^{-1} foi superior ao agrossilício 0,42 e $0,77 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

[Digite texto]

TABELA 3 – Rendimento de Matéria Natural (RMN) (%), teor médio de Matéria Seca (MS) e Produção de Matéria Seca (PMS) (t ha⁻¹) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Variáveis	Doses (kg ha ⁻¹)	Fontes	
		Agrossilício	Silmag
RMN (t ha ⁻¹)	400	*54,66 A	46,21 B
	800	*40,07 B	42,68 A
	1600	*36,70 A	*34,76 B
	2400	*29,84 B	*33,27 A
	Calcário (testemunha)	43,45	
	CV (%)	2,02	
MS (%)	400	*22,82 A	*21,73 B
	800	*22,39 A	21,14 B
	1600	*21,99 A	21,34 B
	2400	*21,44 A	*21,74 A
	Calcário (testemunha)	21,87	
	CV (%)	1,25	
Matéria seca (t ha ⁻¹)	400	*12,36 A	9,77 B
	800	8,97 B	9,39 A
	1600	*8,03 A	*7,64 B
	2400	*6,44 B	*7,21 A
	Calcário (testemunha)	9,07	
	CV (%)	2,96	

Médias seguidas de asteriscos (*) diferem da testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

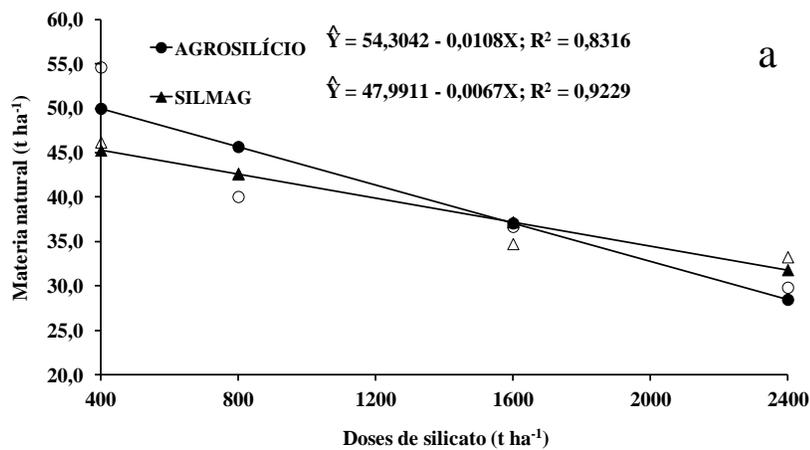
Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de "F"(p<0,05).

Quando se verifica o efeito das doses em ambas as fontes sobre o RMN, o teor de MS e PMS, a fonte agrossilício apresentou comportamento linear, visto

[Digite texto]

que a cada kg ha^{-1} aumentado na dosagem deste corretivo houve decréscimo no RMN de 10 kg ha^{-1} ($0,01 \times 1000 \text{ kg}$) (FIGURA 1a) e $0,7$ no teor de MS (FIGURA 1b) e 2 kg ha^{-1} na PMS (FIGURAS 1c). Já para a fonte silmag, o RMN e PMS teve decréscimo de 6 e 1 kg ha^{-1} , respectivamente (FIGURA 1a e c).

O teor de MS (FIGURA 1b) para esta mesma fonte apresentou comportamento quadrático, sendo que a dosagem de 500 kg ha^{-1} deste corretivo foi a que proporcionou o menor teor de MS ($21,62\%$) e a partir da qual o teor de MS voltou a crescer.



[Digite texto]

FIGURA 1. cont.

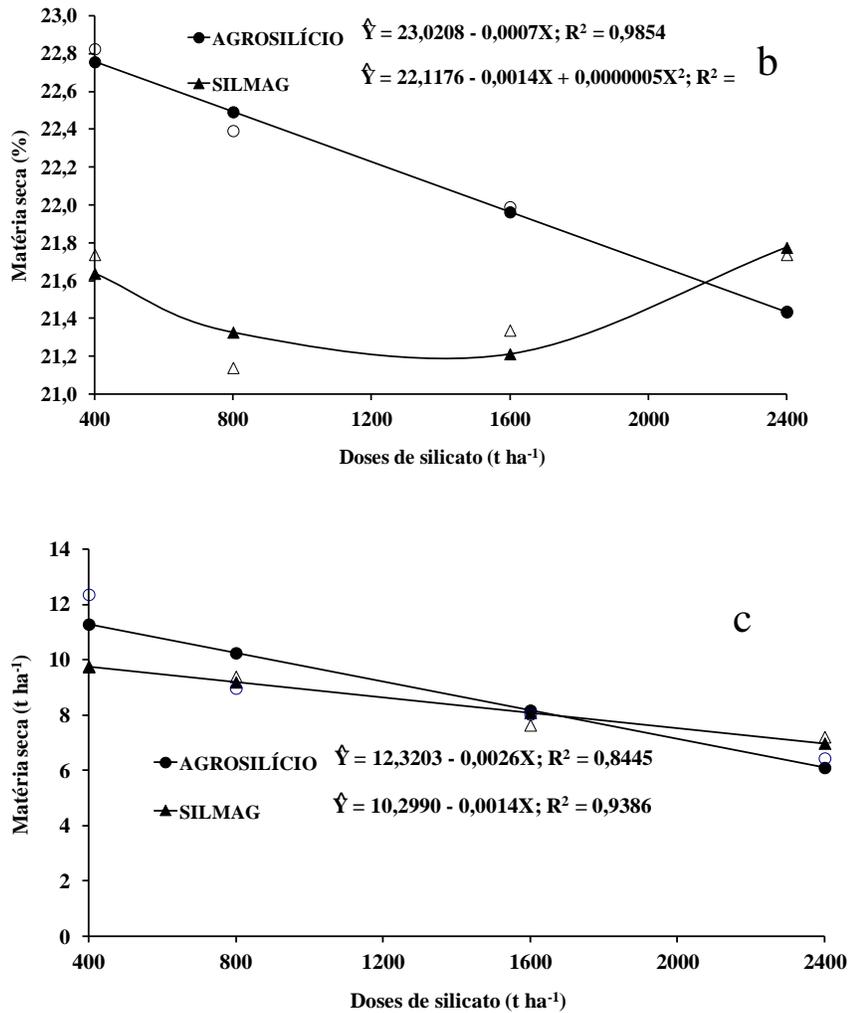


FIGURA 1 - Produção média de Matéria Natural (a), teor (b) e produção média de matéria seca (c) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício. (continua)

[Digite texto]

A redução no rendimento, no teor e na produção de matéria seca do capim-marandu com adição crescente de silicato pode também ser atribuída às menores taxas de transpiração pela deposição de sílica amorfa, resultando numa maior concentração de água nos tecidos (VOLENCE e NELSON, 2003).

Santos *et al.* (2003) avaliaram o potencial produtivo e a composição química de cinco gramíneas tropicais, dentre elas o marandu. Todos os tratamentos receberam calagem (8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico) adubação orgânica (20 t ha⁻¹) de esterco bovino) e adubação química (50 kg ha⁻¹ de N (100 kg ha⁻¹) de P₂O₅ (100 kg ha⁻¹) de K₂O), no estabelecimento. O capim-marandu produziu 25,23 t ha⁻¹ de MN os 35 dias de idade a 10 cm do solo. A média de produção de MN (39,77 t ha⁻¹) para a presente pesquisa foi superior à encontrada para a maioria das forrageiras tropicais. Tal fato se justifica, provavelmente, pela capacidade de germinação das sementes, manejo de corte (110 dias) adotado e condições climáticas da região.

Para a PMS, tanto os tratamentos que receberam agrossilício como silmag tiveram comportamento linear negativo com a adição de doses crescentes do corretivo (Figura 3). A cada 100 kg de corretivo adicionado a PMS diminui 0,2 e 0,1 t ha⁻¹, respectivamente.

Santos *et al.* (2007) também trabalharam com o Marandu e a cultivar MG-5 e avaliaram a produção de massa seca da parte aérea e raiz de ambos, variando as concentrações de silício em solução nutritiva. Os autores reportaram que a cultivar Marandu revelou declínio no desenvolvimento de parte aérea à medida que as concentrações de silício aumentaram, porém essa afirmativa não se aplicou para o valor intermediário de medição, correspondente a 30 dias após o plantio, pois essa época apresentou um ligeiro aumento da massa seca de parte aérea.

[Digite texto]

Fonseca *et al.* (2009) registraram curva de ajuste quadrático da massa seca de capim-marandu após aplicação de escória de siderurgia, ou seja, ocorreu um ponto ótimo com posterior decréscimo no desenvolvimento do capim cuja dose de $3,22 \text{ g dm}^{-3}$ (duas vezes a dose indicada para elevar saturação de bases a 60 %) foi a que proporcionou maior incremento na produção de massa seca. Tal comportamento, assim como esse observado na presente pesquisa, pode ser justificado por um desbalanço nutricional provocado pela alta concentração de Si na solução do solo, o que diminui a absorção dos micronutrientes e do N pelas plantas, por conseguinte, reduz o rendimento.

Para o teor de MM, todos os tratamentos superaram o calcário ($p < 0,05$), exceto o silmag na dosagem de 2400 kg ha^{-1} ($p > 0,05$) (TABELA 4).

Observa-se que não houve diferença ($p > 0,05$) no teor de MM entre as fontes de silício de mesma dose apenas na dosagem de 1600 kg há^{-1} ($p < 0,05$), em que o agrossilício foi superior ao silmag 0,49 % no teor de MM (TABELA 4).

TABELA 4 - Teor médio de Matéria Mineral (MM) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Variáveis	Doses (kg ha^{-1})	Fontes	
		Agrossilício	SilmAg
Matéria Mineral (%)	400	*21,69 A	*1,73 A
	800	*20,96 A	*1,83 A
	1600	*20,94 A	*2,64 A
	2400	*20,45 A	*1,76 B
	Calcário (testemunha)	19,95	
	CV (%)	0,94	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de "F" ($p < 0,05$).

[Digite texto]

Houve efeito ($p < 0,05$) das doses em ambas as fontes sobre o teor de MM (FIGURA 2). O agrossilício e o silmag apresentaram comportamento linear, sendo que a cada kg ha^{-1} aumentado na dosagem do corretivo houve decréscimo de 0,0005 e 0,0007, respectivamente, no teor de MM d forragem (FIGURA 2).

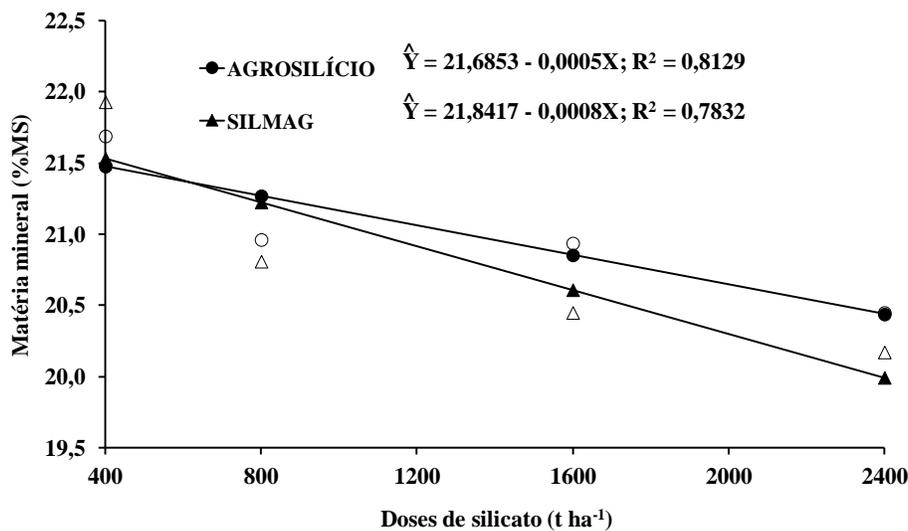


FIGURA 2 – Teor médio de matéria mineral (MM) (a) e extrato etéreo (EE) (b) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

O fato de ocorrer decréscimo no teor de MM do marandu com o aumento nas doses de silicato pode ser em função de que o silício em altas concentrações na solução do solo foi sequestrado pelo sistema radicular e pode ter ocorrido um desbalanço nutricional desse elemento com outros minerais indisponibilizando-os para a forrageira.

Os valores obtidos do capim-marandu para MM, no presente estudo, estão bem acima daqueles encontrados na literatura, 4,9 % (KARIM *et al.*, 2011) 10,46% (ALVES *et al.*, 2006). Santos *et al.* (2003) avaliaram o potencial

[Digite texto]

produtivo e a composição química do capim-marandu, e a MM encontrada para essa cultivar foi 1,29 % na base da matéria seca aos 35 dias de idade a 10 cm do solo. Uma possível explicação poderia ser o fato de essa fração (MM) conter alto teor de sílica e, assim, superestimar o teor de minerais tornando-se fator importante a ser considerado.

Para a PB (tabela 5), o agrossilício em todas as doses superaram ($p < 0,05$) o calcário, exceto na dosagem de 2400 kg ha^{-1} ($p > 0,05$), enquanto que para a fonte Silmag apenas as dosagens 400 e 2400 kg ha^{-1} superaram ($p < 0,05$) a testemunha.

Já quanto ao teor de NIDN, observa-se (tabela 5) que para a fonte agrossilício todas as doses superaram ($p < 0,05$) o calcário, exceto a dose de 1600 kg ha^{-1} ($p > 0,05$); para a fonte silmag, apenas as doses de 400 e 2400 kg ha^{-1} excederam ($p < 0,05$) a testemunha.

Para NIDA (TABELA 5) todas as doses do agrossilício apresentaram resultados superiores à testemunha ($p < 0,05$), exceto a dosagem de 400 kg ha^{-1} ($p > 0,05$), enquanto que para a fonte Silmag, o teor de NIDA ultrapassou a testemunha ($p < 0,05$) nas dosagens de 800 e 1600 kg ha^{-1} .

Dentre as fontes de silício, o agrossilício apresentou 0,29 % e 0,24 % de PB nas doses de 800 e 1600 kg ha^{-1} a mais que o silmag, respectivamente (TABELA 5). O silmag na dose de 2400 kg ha^{-1} foi superior ao agrossilício 0,28 %. Na dose de 400, os tratamentos foram estatisticamente semelhantes ($P > 0,05$) quanto às porcentagens de PB (TABELA 4).

Observa-se que houve diferença no teor de NIDN entre as fontes de silício de mesma dose, o agrossilício apresentou 0,7 %, 0,8 %, 0,62 % e 0,52 % de NIDN nas doses de 400, 800, 1600 e 2400 kg ha^{-1} a mais que o silmag, respectivamente (TABELA 5). Houve diferença no teor de NIDA entre as fontes de silício de mesma dose, visto que o silmag apresentou 0,81 % e 0,29 % a mais de NIDA que o agrossilício nas doses de 400 e 800 kg ha^{-1} , respectivamente

[Digite texto]

(Tabela 5). Já nas dosagens de 1600 e 2400 kg ha⁻¹, o agrossilício apresentou 3,73 % e 3,97 % a mais de NIDA que o silmag, respectivamente (TABELA 5) kg ha⁻¹.

Quando se verifica o efeito das doses em ambas as fontes sobre o teor de PB, NIDN e NIDA, a fonte agrossilício teve comportamento linear, pois a cada kg ha⁻¹ aumentado na dosagem desse corretivo houve decréscimo no teor de PB (FIGURA 3a) de 0,0003 %. Os tratamentos que receberam a aplicação de silmag tiveram comportamento quadrático sendo que a dose que levou ao menor teor de PB foi de 1500 kg ha⁻¹ (4,22 %), a partir da qual o teor de PB voltou a crescer.

[Digite texto]

TABELA 5- Teor médio de Proteína Bruta (PB), Nitrogênio Insolúvel em Detergente Neutro (NIDN) e Nitrogênio Insolúvel em Detergente Ácido (NIDA) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Variáveis	Doses (kg ha ⁻¹)	Fontes	
		Agrossilício	SilmAg
PB (%)	400	*5,02 A	*5,02 A
	800	*4,57 A	4,28 B
	1600	*4,61 A	4,37 B
	2400	4,37 B	*4,65 A
	Calcário (testemunha)	4,21	
	CV (%)	2,58	
NIDN (%)	400	*6,61 A	*5,91 B
	800	*6,18 A	5,38 B
	1600	*4,88 A	*4,26 B
	2400	*7,52 A	*7,00 B
	Calcário (testemunha)	5,34	
	CV (%)	3,47	
NIDA (%)	400	13,02 B	13,83 A
	800	*14,39 B	*14,68 A
	1600	*19,05 A	*15,32 B
	2400	*16,84 A	12,87 B
	Calcário (testemunha)	13,13	
	CV (%)	1,08	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de "F" ($p < 0,05$).

Quanto ao NIDN (FIGURA 3b), tanto nos tratamentos com aplicação de silmag como agrossilício tiveram comportamento quadrático. A dose de 1250 kg ha⁻¹ proporcionou o menor teor de NIDN, respectivamente 5,21 e 4,26 para agrossilício e silmag, a partir da qual o teor de NIDN voltou a crescer. Para o

[Digite texto]

teor de NIDA (FIGURA 3c), tanto os tratamentos que receberam a aplicação de agrossilício como silmag tiveram comportamento quadrático cujas doses que levaram ao maior teor de NIDA foram de 1833 kg ha⁻¹ (18,34 %) e 1250 kg ha⁻¹ (15,19 %) respectivamente, a partir das quais o teor de NIDA voltou a diminuir.

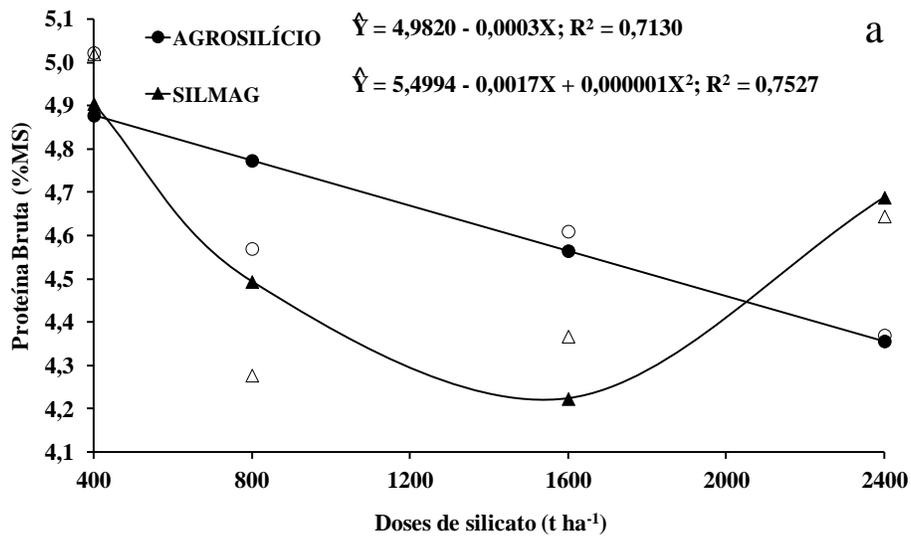


FIGURA 3. Cont.

[Digite texto]

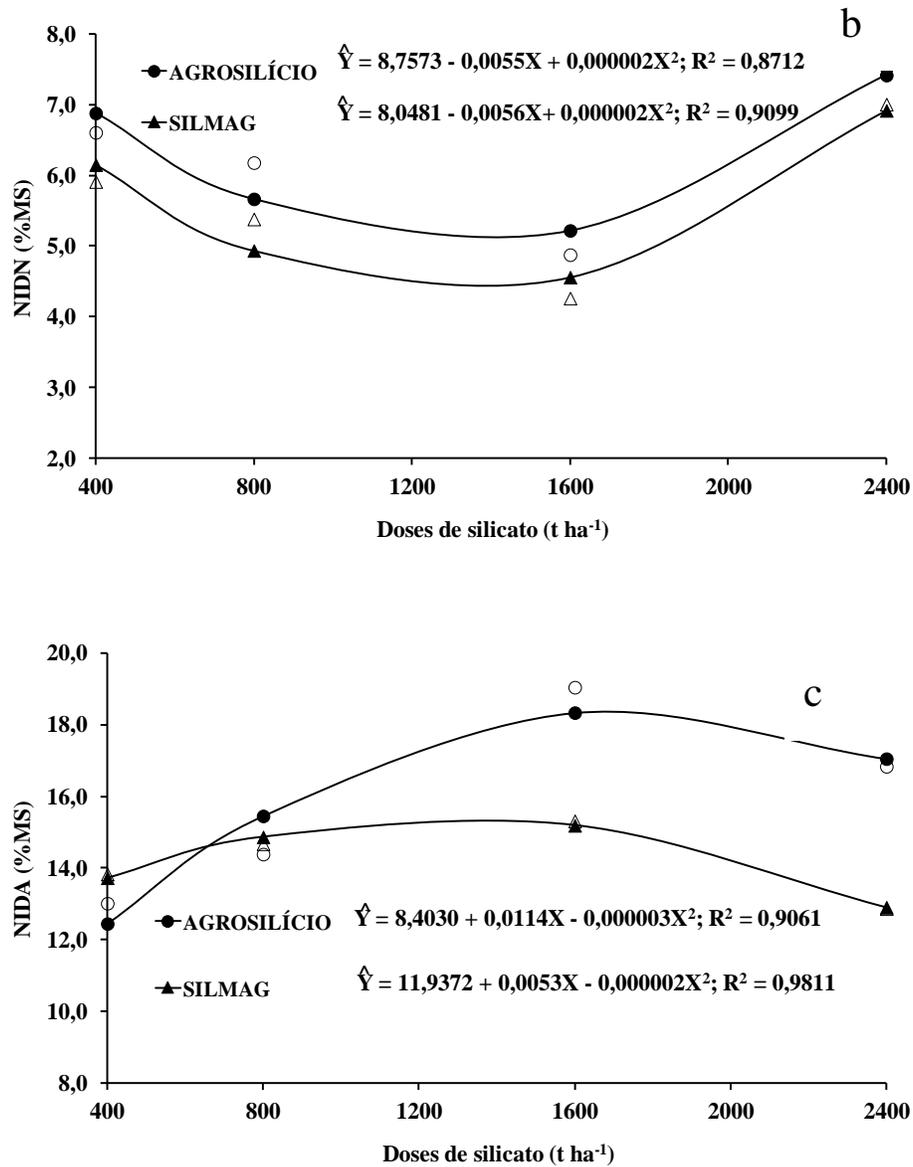


FIGURA 3 - Teor de Proteína Bruta (PB) (a), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) (b) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) (c) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício. (Continua).

[Digite texto]

Como as braquiárias são plantas tolerantes às condições de acidez no solo, provavelmente as altas doses de silicato afetaram negativamente o teor de PB da forrageira, podendo ter provocado uma desordem nutricional, diminuindo a absorção dos micronutrientes e, conseqüentemente, do N pelas plantas.

Faria *et al.* (2008) estudaram os efeitos residuais da aplicação de silicato de cálcio combinado com calcário dolomítico sobre o teor de PB do capim-Marandu sob intensidades de pastejo em lotação rotacionada e observaram que o teor de PB (5,69) na base da MS não foi afetado pelos corretivos. Castro *et al.* (2007) constataram para o capim-marandu cortado aos 84 e 112 dias 5,0 e 4,8 % de PB, respectivamente.

Santana *et al.* (2010) trabalharam com a *Brachiaria decumbens* Stapf em solo corrigido com diferentes doses de calcário e escória silicatada e relataram teor médio de PB de 6,45 ao terceiro corte (119 dias) com aplicação da escória (correspondente a dose recomendada). Com adição crescente de níveis de escória, o teor proteico reduziu gradativamente e chegou a 5,44 %, com aplicação correspondente a duas vezes a dose recomendada.

Pedreira *et al.* (1998) ratificaram que essas diferenças em relação aos teores de NIDN e NIDA podem estar relacionadas com a metodologia utilizada e com as variáveis ambientais, pois os componentes do clima exercem efeitos sobre o desenvolvimento e qualidade da planta.

Para FDN, observa-se (TABELA 6) que o agrossilício apenas nas dosagens 800 e 1600 kg ha⁻¹ superou (p<0,05) a testemunha, enquanto que para a fonte Silmag todas as dosagens superaram a testemunha (p<0,05), exceto 2400 kg ha⁻¹.

Já quanto ao teor de FDA observa-se (TABELA 6) que o agrossilício nas dosagens 400 e 2400 kg ha⁻¹ superou (p<0,05) a testemunha, para a fonte silmag todas as doses superaram (p<0,05) a testemunha. Para FDN/FDA

[Digite texto]

(TABELA 6) apenas as doses 800 e 1600 kg ha⁻¹ do agrossilício apresentaram resultados superiores a testemunha (p<0,05).

Todavia entre as fontes de silício, o silmag apresentou 2,92 % e 2,86 % de FDN a mais que o agrossilício nas doses de 400 e 800 kg ha⁻¹, respectivamente (TABELA 6). O agrossilício na dose de 240a kg ha⁻¹ foi superior ao silmag 1,25 %. Na dose de 1600, os tratamentos foram estatisticamente semelhantes (P>0,05) quanto às porcentagens de FDN (Tabela 6).

Observa-se que houve diferença no teor de FDA entre as fontes de silício de mesma dose, o silmag apresentou 8,22 %, 10,26 % e 5,74 % de FDA nas doses de 800, 1600 e 2400 kg ha⁻¹ a mais que o agrossilício, respectivamente (TABELA 6). O agrossilício na dose de 400 kg ha⁻¹ foi superior ao silmag 5,4 %.

Houve diferença na relação FDN/FDA entre as fontes de silício de mesma dose, o agrossilício apresentou 0,29 %, 0,42 % e 0,25 % a mais de FDN/FDA que o silmag nas doses de 800, 1600 e 2400 kg ha⁻¹, respectivamente (TABELA 6), já na dose de 400 kg ha⁻¹ o silmag apresentou 0,26 % a mais de FDN/FDA que o agrossilício (TABELA 6).

Os tratamentos com uso de silicato, de um modo geral, apresentaram maiores teores de FDN e FDA, o que deve estar relacionado à capacidade de o silício aumentar a parede celular (lignina, celulose, hemicelulose e outras frações indigestíveis), reduzir carboidratos solúveis e carboidratos de baixa digestibilidade e diminuir conteúdo celular.

Portanto, já era esperado que os tratamentos com fonte de silício apresentassem teores de FDN e FDA maiores que aqueles com adição de calcário.

[Digite texto]

Por outro lado, entre fontes de silício de mesma dose os resultados não foram semelhantes devido à diferença na composição de silício solúvel e óxido de cálcio entre as fontes.

Quando se verifica o efeito das doses em ambas as fontes sobre o teor de FDN e FDA, tanto os tratamentos que receberam a aplicação de agrossilício como silmag tiveram comportamento quadrático sendo que a dose que proporcionou maior teor de FDN foi de $1166,66 \text{ kg ha}^{-1}$ (71,3 %) e $833,33 \text{ kg ha}^{-1}$ (72,68 %), respectivamente, a partir da qual voltou a diminuir (FIGURA 4a).

Os tratamentos com aplicação de agrossilício e silmag proporcionaram efeito negativo e positivo no teor de FDA nas doses de $1642,86 \text{ kg ha}^{-1}$ (35,25 %) e 1500 kg ha^{-1} (47,55%), respectivamente (FIGURA 4b).

Para a relação FDN/FDA, os tratamentos com a aplicação de agrossilício tiveram comportamento quadrático sendo que a dose que proporcionou a maior FDN/FDA foi de 1250 kg ha^{-1} (1,99) (FIGURA 4c). Nos tratamentos com aplicação de silmag, houve comportamento linear negativo a cada kg ha^{-1} de silmag adicionado, a relação FDN/FDA diminuiu 0,0001 (FIGURA 4c).

[Digite texto]

TABELA 6 - Teor médio de Fibra em Detergente Neutro (%) FDN, Fibra em Detergente Ácido (%) FDA e Relação FDN/FDA (FDN/FDA) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Variáveis	Doses (kg ha ⁻¹)	Fontes		
		Agrossilício	SilmAg	
FDN (%)	400	67,94 B	*70,86 A	
	800	*71,83 B	*74,69 A	
	1600	*70,38 A	*70,26 A	
	2400	68,75 A	67,50 B	
	Calcário (testemunha)		67,04	
	CV (%)		0,40	
FDA (%)	400	*46,81 A	*41,41 B	
	800	*37,25 B	*45,47 A	
	1600	*36,90 B	*47,16 A	
	2400	*39,73 B	*45,47 A	
	Calcário (testemunha)		38,42	
	CV (%)		0,50	
FDN/FDA	400	*1,45 B	1,71 A	
	800	*1,93 A	*1,64 B	
	1600	*1,91 A	*1,49 B	
	2400	1,73 A	*1,48 B	
	Calcário (testemunha)		1,74	
	CV (%)		0,75	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de "F"(p<0,05).

[Digite texto]

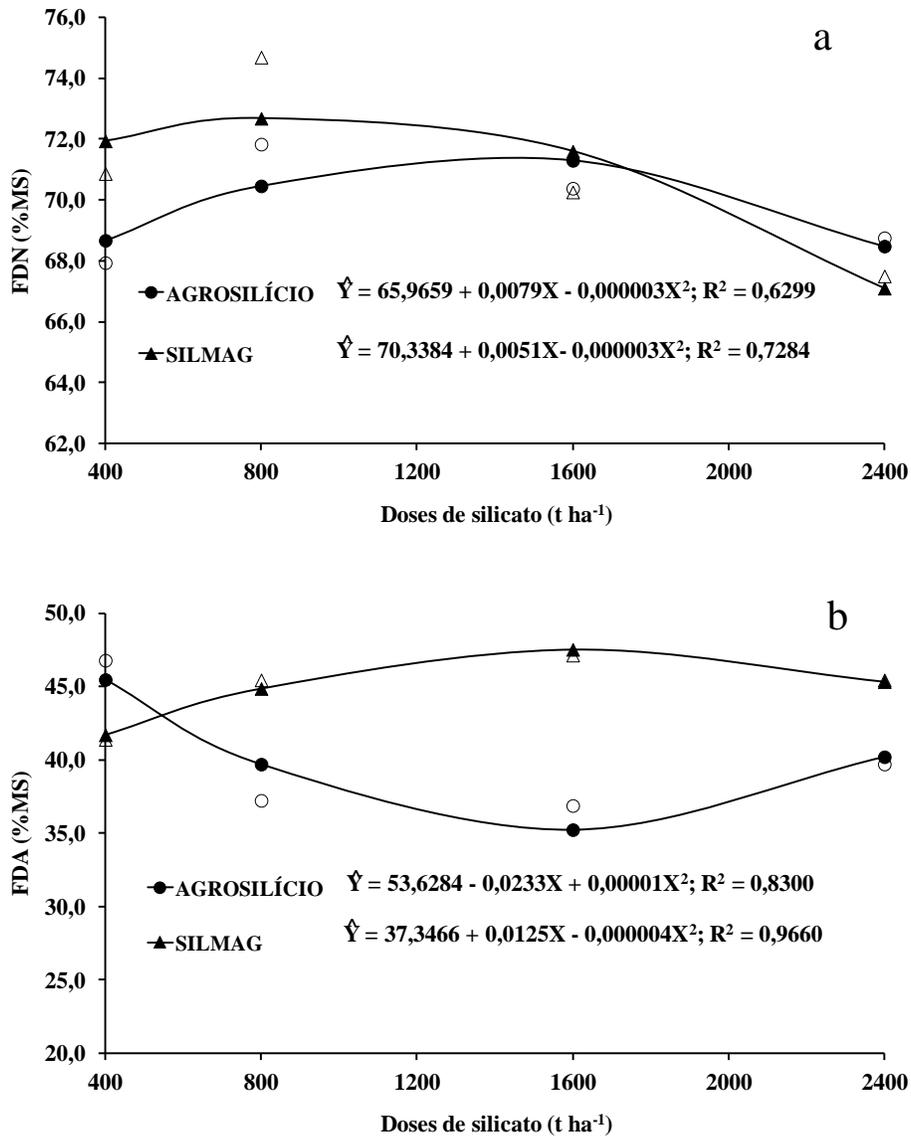


FIGURA 4. Cont.

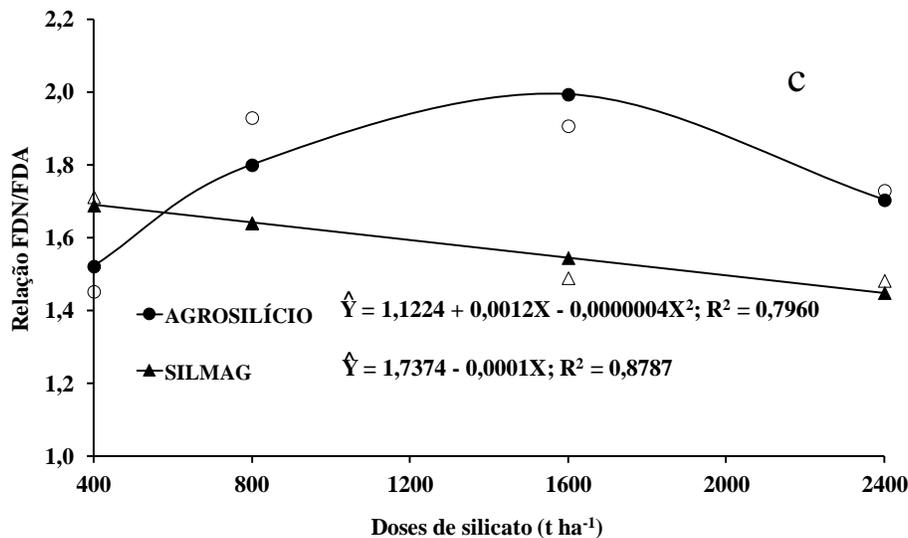


FIGURA 4 - Teor de fibra em detergente neutro (FDN) (a), fibra em detergente ácido (FDA) (b) e relação FDN/FDA (c) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício. (Continua)

Sabe-se que a análise de FDN estima a concentração total de celulose, hemicelulose e lignina da parede celular, resíduos de N e cinzas que estão intimamente associados à fibra do alimento. A silicatagem está entre as técnicas indicadas para correção do solo, dentre os benefícios da adição do silício em culturas anuais e forrageiras estão o espessamento da parede celular (SILVEIRA JÚNIOR *et al.* 2003).

A FDN representa a fração química da forrageira que se correlaciona mais estreitamente com o consumo voluntário dos animais, cujos valores acima de 55 a 60 % se correlacionam de maneira negativa (VAN SOEST, 1965).

Na presente pesquisa observa-se que, contrariamente ao que aconteceu com as menores dosagens, com doses mais elevadas de silício a tendência foi diminuir o conteúdo da parede celular. Provavelmente, as altas doses de silicato

[Digite texto]

afetaram negativamente o teor de FDN e FDA da forrageira, podendo ter provocado uma desordem nutricional, diminuindo a absorção dos micronutrientes e, conseqüentemente, reduzindo a absorção de N pelas plantas. Esse desequilíbrio fisiológico pode ser comprovado pelo efeito constatado sobre a produção de MS a qual decresceu com adição crescente de silício.

Dessa maneira, a silicatagem em plantas forrageiras deve ser avaliada tanto quanto o efeito de fontes como de doses sobre a composição química, digestibilidade “*in vivo*” e custo/benefício.

Conforme Van Soest (1994), a FDA é composta principalmente pelas frações lignina e celulose. Teores elevados de FDA das forrageiras estão associados a menor digestibilidade do alimento. O teor de FDA é um fator importante quando se avalia a digestibilidade de um alimento, pois à medida que aumenta os teores de FDA da forrageira, diminui a digestibilidade da MS (BRANCO, 2006).

Provavelmente, com o resultado de FDA da presente pesquisa, haverá menor digestibilidade da forrageira nos tratamentos utilizando-se o silmag como corretivo.

Van Soest (1994) relata que alta relação FDN:FDA possibilita melhorias no consumo e na digestibilidade do material forrageiro à medida que os teores de FDN aumentam e os teores de FDA diminuem ou se mantem. Esse foi o comportamento dessas variáveis da forrageira tratada com agrossilício nesta pesquisa.

Sanches (2003) trabalhou com o capim-braquiarião e avaliou os atributos químicos do solo e planta, produção de massa seca e composição bromatológica com a utilização de diferentes dosagens de silicato de cálcio. O autor constatou que os valores de FDN variaram de 76,40 % a 80,80 %, os valores de FDA variaram de 45,04 % a 47,52 %, os valores de FDN/FDA variaram de 1,67 a 1,73 entre as variáveis e não foram influenciadas pelos níveis de silicato.

[Digite texto]

Santana *et al.* (2010) trabalharam com a *Brachiaria decumbens* Stapf em solo corrigido com diferentes doses de calcário e escória silicatada. Verificaram que os teores de FDN não foram afetados pelos corretivos de acidez, exceto no terceiro corte (119 dias), em que a aplicação de calcário proporcionou teor de FDN 0,64 % a mais em relação à escória silicatada. Os teores de FDA não foram influenciados significativamente pelos tipos e doses de corretivos. No terceiro corte com aplicação da escória (dose recomendada) obtiveram 62,41% de FDN, 29,89 % de FDA e 2,08 de FDN/FDA.

Essas diferenças dos estudos citados com o trabalho em questão, o qual apresentou teor médio de 70,28 % de FDN e 42,52 % de FDA e 1,67 de FDN/FDA, podem estar relacionadas com adversidades nas condições climáticas; no manejo adotado em cada experimento (adubação nitrogenada entre épocas de avaliação); nas metodologias utilizadas; nas características genéticas das cultivares, as quais espécies de mesmo gênero podem apresentar potencial diferente de absorção para o mesmo elemento químico.

Em se tratando de HEM, observa-se (TABELA 7) que para fonte agrossilício apenas as dosagens 800 e 1600 kg ha⁻¹ superaram ($p < 0,05$) a testemunha, enquanto que para a fonte Silmag as dosagens 1600 e 2400 kg ha⁻¹ foram inferiores à testemunha ($p > 0,05$). Já quanto ao teor de CEL, nota-se (Tabela 7) que para o agrossilício apenas a dosagem de 2400 kg ha⁻¹ superou ($p < 0,05$) o calcário, para a fonte silmag todas as doses excederam ($p < 0,05$) a testemunha. Para a LIG (TABELA 7) todas as dosagens dos silicatos (agrossilício e silmag) apresentaram resultados superiores à testemunha ($p < 0,05$).

[Digite texto]

TABELA 7- Teor médio de Hemicelulose (HEM), Celulose (CEL) e Lignina (LIG) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Variáveis	Doses (kg ha ⁻¹)	Fontes	
		Agrossilício	SilmAg
HEM (%)	400	*21,12 B	29,45 A
	800	*34,58 A	29,22 B
	1600	*33,48 A	*23,10 B
	2400	29,02 A	*22,03 B
	Calcário (testemunha)		28,62
	CV (%)		1,31
CEL (%)	400	19,94 B	*23,81 A
	800	19,82 B	*22,28 A
	1600	18,46 B	*21,01 A
	2400	*22,09 B	*23,32 A
	Calcário (testemunha)		18,79
	CV (%)		2,26
LIG (%)	400	*8,33 A	*6,36 B
	800	*8,70 A	*5,44 B
	1600	*3,15 B	*4,64 A
	2400	*3,07 B	*3,90 A
	Calcário (testemunha)		2,55
	CV (%)		1,77

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de "F"(p<0,05).

Entretanto, entre as fontes de silício, o agrossilício apresentou 5,36 %, 10,38 % e 6,99 % de HEM a mais que o silmag nas doses de 800, 1600 e 2400 kg ha⁻¹ respectivamente (TABELA 7). O silmag na dose de 400 kg ha⁻¹ foi superior ao agrossilício 8,33% (Tabela 7). Observa-se que houve diferença no

[Digite texto]

teor de CEL entre as fontes de silício de mesma dose, o silmag apresentou 3,87 %, 2,46 %, 2,55 % e 1,23 % de CEL a mais que o agrossilício nas doses de 400, 800, 1600 e 2400 kg ha⁻¹ respectivamente (TABELA 7). Houve diferença no teor de LIG entre as fontes de silício de mesma dose, o agrossilício apresentou 1,97 % e 3,26 % a mais que o silmag nas doses de 400 e 800 kg há⁻¹, respectivamente (TABELA 7), já nas dosagens de 1600 e 2400 kg há⁻¹ o silmag apresentou 1,49 % e 0,83 % a mais de LIG que o agrossilício (TABELA 7).

Quando se verifica o efeito das doses em ambas as fontes sobre o teor de HEM, CEL e LIG, nota-se que para HEM, os tratamentos com a aplicação de agrossilício tiveram comportamento quadrático sendo que a dose que proporcionou maior teor de HEM foi de 1550 kg ha⁻¹ (36,04 %) (FIGURA 5a) a partir da qual o teor de HEM voltou a diminuir. Nos tratamentos com aplicação de silmag, houve comportamento linear negativo, visto que a cada kg ha⁻¹ do silicato adicionado o teor de HEM reduz 0,004 % (FIGURA 5a). Para o teor de CEL, tanto nos tratamentos com aplicação de agrossilício como silmag o comportamento foi quadrático sendo que a dose que proporcionou o menor teor de CEL foi de, respectivamente, 1500 (18,95 %) e 1166,67 kg ha⁻¹(21,1 %) a partir da qual o teor de CEL voltou a crescer (Figura 5b). Quanto ao teor de LIG (FIGURA 5c), ambos os corretivos apresentaram comportamento linear negativo com adição de doses crescentes do corretivo (FIGURA 5c), pois a cada kg ha⁻¹ dos silicatos incorporado ao solo houve redução ($p < 0,05$) no teor de LIG de 0,003 e 0,0012, respectivamente como redigido.

[Digite texto]

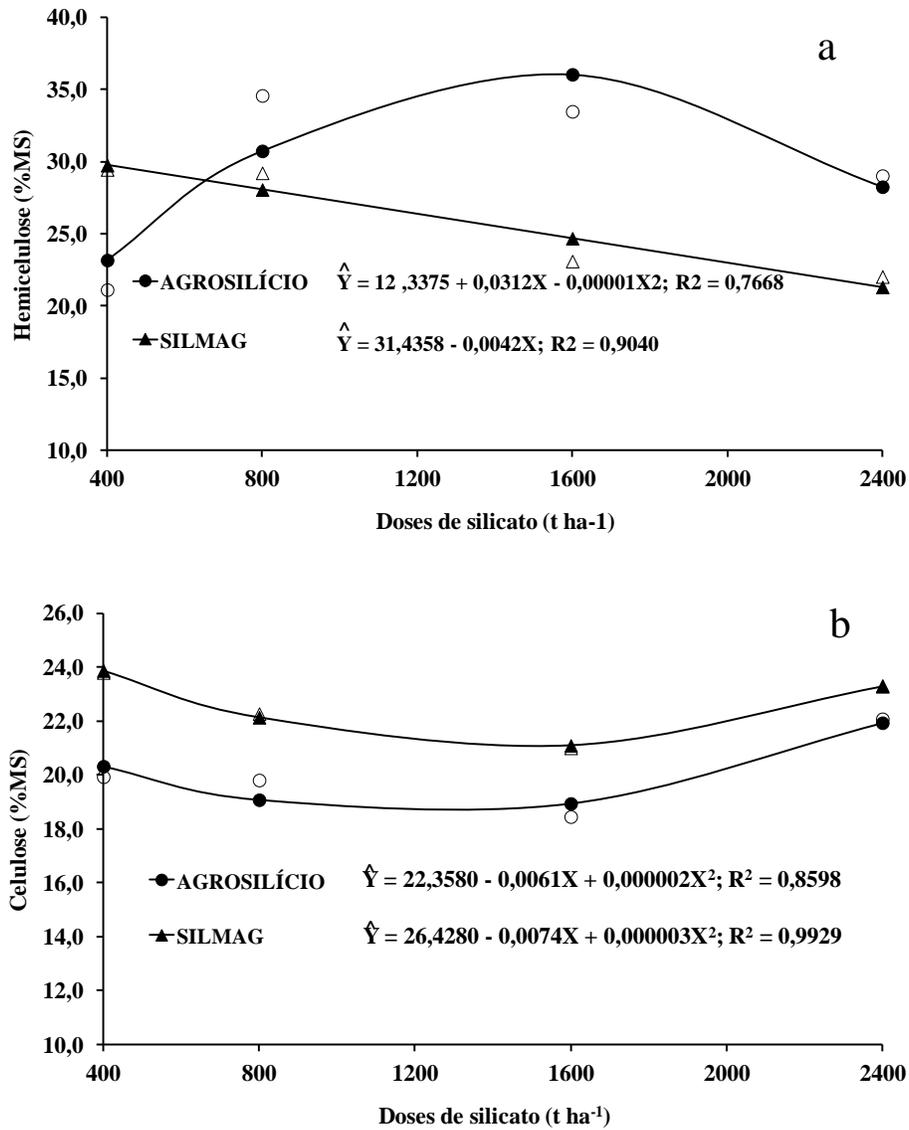


FIGURA 5. Cont.

[Digite texto]

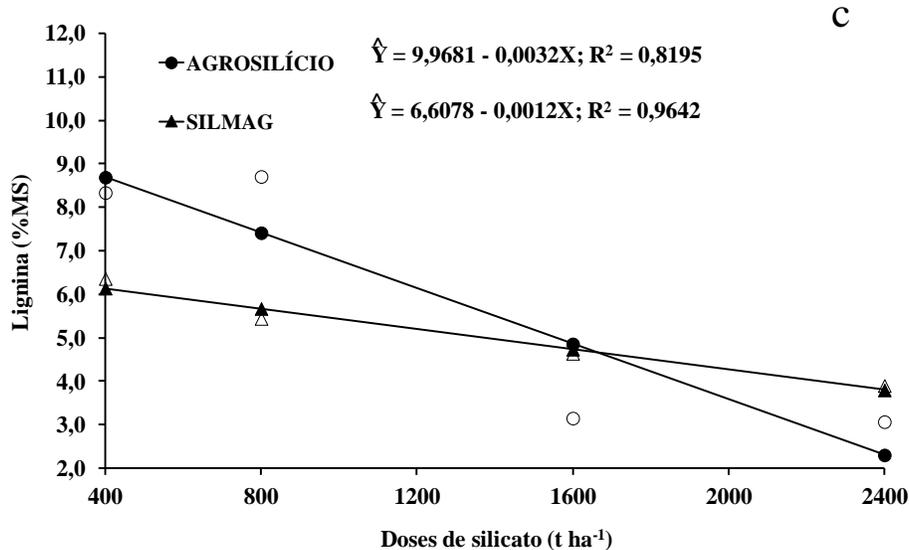


FIGURA 5 - Teor de hemicelulose (HEM) (a), celulose (CEL) (b) e lignina (LIG) (c) capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício. (Continua).

A forrageira produzida no trabalho em questão apresentou teor médio de 27,75 % de HEM e 21,34 % de celulose.

Batista Júnior (2010) estudou os efeitos da adubação com diferentes doses e fontes de silício (orgânico e silicato de cálcio) na morfogenese das plantas de *Brachiaria brizantha* cv. marandu e em relação aos carboidratos que participam do valor nutricional da forragem, o teor de hemicelulose não foi influenciado pelos tipos e doses de corretivos, o teor de celulose foi influenciado pelos tipos e doses de corretivos. Obteve-se teor médio de hemicelulose de 31,41 %, 35,19 % e 32,08 % e de celulose de 12,69 %, 13,38 % e 5,13 % com adição de calcário, silício orgânico e silicato de cálcio, respectivamente.

Essas diferenças nos teores de hemicelulose e celulose podem estar relacionadas com o manejo dos corretivos e quantidades trabalhadas de silício, uma vez que o autor trabalhou com doses menores (100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹)

[Digite texto]

dos corretivos, comparadas ao presente experimento (400, 800, 1600 e 2400 kg ha⁻¹). Outro fator a ser considerado no trabalho é a idade de corte (30 e 60 dias) da gramínea, enquanto que neste estudo o corte da forragem foi realizado aos 110 dias.

A presença de aminoácidos nutricionalmente indisponíveis na lignina (NIDA) indica uma associação das ligninas e os peptídeos da parede celular, e o conteúdo de nitrogênio na FDA tem sido relacionado positivamente com o conteúdo de lignina e negativamente com a digestibilidade.

Dessa forma, o esperado ocorreu, teores de FDA e NIDA foram, relativamente, altos em todos os tratamentos e os teores de lignina também. Quando se observa os valores dessas frações nos tratamentos com silicato e com calcário, percebe-se que a FDA, o NIDA e a lignina apresentaram valores maiores nos tratamentos com silicato em detrimento ao tratamento com calcário.

4.2 Cinética da degradação ruminal

Não houve efeito das fontes e doses dos corretivos sobre a degradabilidade da MS ($p > 0,05$) (FIGURA 6). Em todos os tratamentos constatou-se que o desaparecimento da MS iniciou-se na primeira hora da incubação, ou seja, esse foi o tempo gasto pelas bactérias para se aderirem ao volumoso. Com o avanço do tempo de incubação, a degradação ruminal da gramínea em todos os tratamentos se estendeu até 72 horas, aproximando-se do ponto assintótico da curva, o que indica ter atingido o máximo da sua degradação, e, a partir deste houve a estabilização da degradação. O comportamento da cinética da degradação ruminal reforça a boa solubilidade encontrada para a MS com altas taxas de fração solúvel e potencialmente degradada no rúmen (TABELA 8) e com valores de DE (TABELA 10) satisfatórios para os três corretivos em todas as dosagens.

[Digite texto]

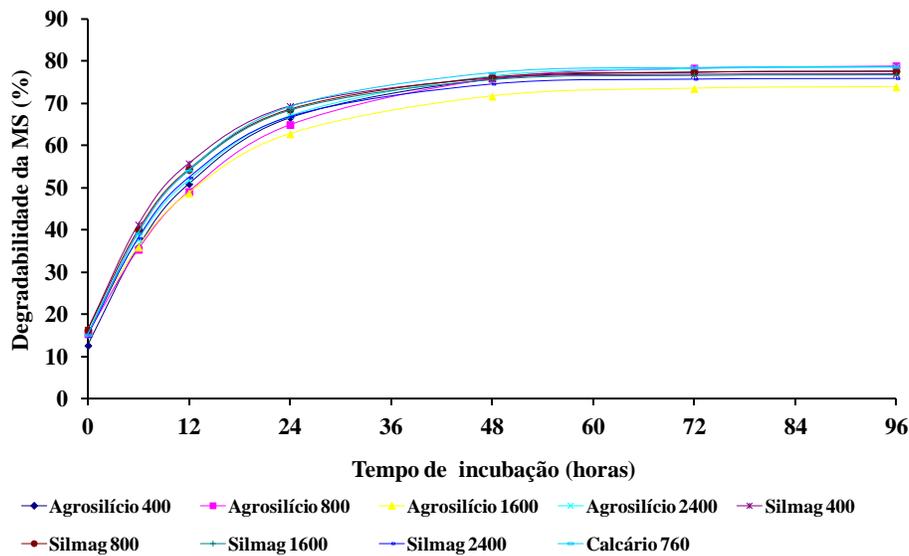


FIGURA 6 - Desaparecimento da MS em função do tempo de incubação do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Marinho *et al.* (2007) avaliaram o efeito de diferentes doses de silicato (0, 200, 400, 600, 800 e 1000 Kg/ha) no cultivo da *Brachiaria brizantha* no período das águas sobre a cinética da degradação ruminal da matéria seca (MS). Em todos os tratamentos, observou-se que com o avanço do tempo de incubação houve uma taxa semelhante de aumento do desaparecimento da MS, a estabilização da degradação da MS também ocorreu com o tempo de 72 horas para a testemunha (calcário) e com os tratamentos com 600 e 800 kg ha⁻¹, independente da fonte de silício, e com 96 horas para os demais tratamentos.

Com relação ao efeito sobre a degradação da MS, verifica-se que, de maneira geral, o uso do silicato aumentou o tempo para estabilização da degradação quando comparado com o calcário. Esse efeito pode ser explicado pelo aumento na disponibilidade de silício no solo, o qual ao ser absorvido pelo

[Digite texto]

capim é depositado na parede celular. Apesar de ocorrer um aumento no tempo necessário para a estabilização da degradação, não foi observado efeito da adubação na taxa de degradação média do capim-braquiária.

Garcia *et al.*(2003), comparando a degradabilidade do capim-braquiária colhido em diferentes épocas do ano, também reportaram a estabilização da degradação da matéria seca no tempo de 72 horas.

Não houve efeito de fontes e doses de corretivos, isoladamente, e da interação (doses x fontes de corretivos) sobre as ($p > 0,05$) frações A, B, FI e DP do marandu (TABELA 8).

TABELA 8 – Média Geral (%) e Coeficiente de Variação (CV) das frações A (fração solúvel), B (fração insolúvel potencialmente degradável), FI (fração indigestível) e DP (degradação potencial) a 5 %/h da matéria seca do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Frações	Média geral	CV
A	15,40	14,27
B	61,75	6,91
FI	22,85	15,75
DP	77,15	4,66

Houve efeito do fator fonte do corretivo sobre as frações DE e C ($p < 0,05$) do marandu (TABELA 9). Entretanto, entre as fontes de silício, o Silmag apresentou 2,58 % e 0,01 % das frações DE e C, respectivamente, a mais que o agrossilício ($p < 0,05$).

[Digite texto]

TABELA 9 – DE (degradação efetiva) a 5%/h da matéria seca, Fração C (%) (taxa de degradação da fração B (h⁻¹)) e Coeficiente de Variação (CV) do capim-marandu submetido a diferentes fontes de silício.

Fonte	Frações	
	DE	C
Agrossilício	51,17 B	0,07 B
Silmag	53,75 A	0,08 A
CV	1,72	15,39

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de “F”(p<0,05).

Para a DE, nota-se (TABELA 10) que apenas a fonte silmag na dosagem de 400 kg ha⁻¹ superou (p<0,05) a testemunha, os demais tratamentos foram estatisticamente semelhantes à testemunha (p>0,05). Entretanto, entre as fontes de silício, o silmag apresentou 3,31 %, 3,45 % e 3,95 % de DE nas doses de 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ a mais que o agrossilício, respectivamente (TABELA 10). Esses corretivos, na dose de 2400, foram estatisticamente semelhantes (p>0,05).

Tabela 10 – DE (%) (degradação efetiva) da matéria seca a 5%/h e Coeficiente de Variação (CV) do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Doses	Fonte	
	Agrossilício	Silmag
400	51,44 b	*54,89 a
800	50,84 b	54,15 a
1600	49,66 b	53,61 a
2400	52,73 a	52,36 a
Testemunha	54,05	
Cv	1,72	

Médias seguidas de * diferem da testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha, na mesma dose, diferem entre si pelo teste de “F”(p<0,05).

[Digite texto]

Brennecke (2007) analisou o capim-marandu submetido a diferentes ofertas de forragem e ciclos de pastejo e concluiu que a fração A foi afetada pela oferta de forragem e os ciclos 3 e 4 estavam com teores maiores em relação aos demais, em que o teor médio dessa fração no experimento foi de 20,43 %. Esse valor da fração A (solúvel) está acima dos obtidos no presente trabalho (média de 16,7 %) o qual está próximo da média encontrada para a maioria das forrageiras tropicais desse gênero. Tal fato se justifica, provavelmente, pelas diferenças nas equações de predição das frações fibrosas utilizadas para os referidos estudos.

Marinho *et al.* (2007) avaliaram o efeito de diferentes doses de silicato (0, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg ha⁻¹) no cultivo da *Brachiaria brizantha* no período das águas sobre a cinética da degradação ruminal da matéria seca (MS). Os parâmetros para análise de regressão (degradação fração solúvel (a), fração insolúvel potencialmente degradável (b), taxa de degradação da fração b (c), degradação potencial (DP) e degradação efetiva (DE) a 5 e 2%/h da matéria seca) em função do nível de adubação com silicato de cálcio, demonstraram que não houve efeito das diferentes doses da adubação silicatada sobre a cinética ruminal. Os valores relatados pelos autores para essas variáveis foram 16,14 %, 35,92 %, 2,54 %, 34,5 % e 28,08 %, respectivamente.

Não houve efeito de fontes e doses dos corretivos sobre a degradabilidade da FDN ($p>0,05$) (FIGURA 7). Em todos os tratamentos, observou-se que o desaparecimento da FDN iniciou-se na primeira hora da incubação, ou seja, esse foi o tempo gasto pelas bactérias para se aderirem à parede celular do volumoso. Com o avanço do tempo de incubação, a degradação ruminal da FDN em todos os tratamentos se estendeu até às 96 horas, o que indica não ter atingido o máximo da sua degradação, sendo necessário tempo maior para incubação do material para que houvesse a estabilização da degradação.

[Digite texto]

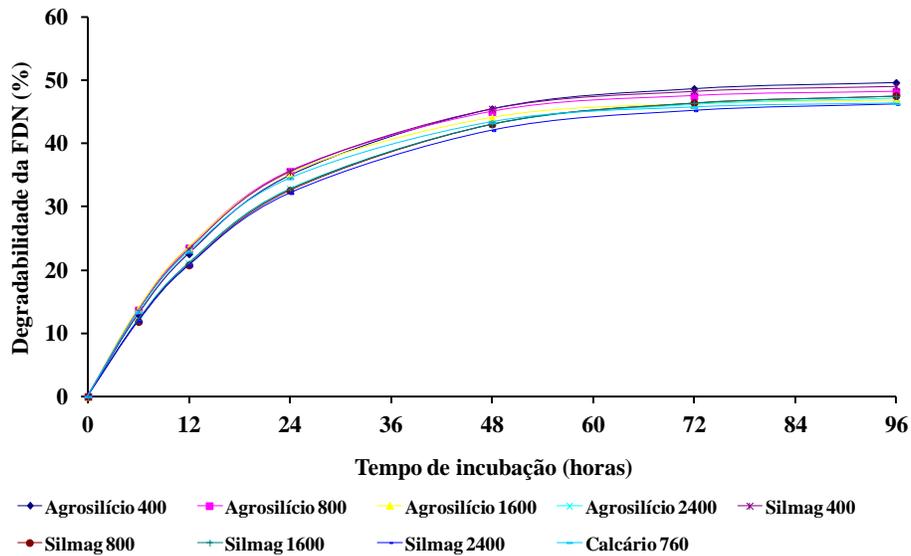


FIGURA 7 - Desaparecimento da FDN em função do tempo de incubação do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício.

Não houve efeito ($p > 0,05$) de fontes e doses de corretivos, isoladamente, e da interação (doses x fontes de corretivos) sobre as frações A, B, FI e DP do marandu (TABELA 11).

Não houve efeito ($p > 0,05$) dos fatores isolados (fontes e doses) e da interação (doses x fontes de corretivos) sobre a degradabilidade da FDN ($p > 0,05$) do marandu representada pelas frações B (48,2 %), FI (51,8 %), BP (48,2 %), IP (51,8 %), DP (48,2 %), C (0,058), DE (25,61) (Tabela 11).

[Digite texto]

TABELA 11 – Média Geral (%) e Coeficiente de Variação (CV) das frações B (fração insolúvel potencialmente degradável (%)), FI (fração indigestível (%)), BP (fração potencialmente degradável padronizada (%)); IP (fração indigestível padronizada (%)), DP (degradação potencial(%)), C (taxa de degradação da fração B (h^{-1})) e DE (degradação efetiva (%)) a 5%/h da FDN do capim-marandu submetido a diferentes fontes e doses de silício

Frações	Média geral	CV
B	48,20	6,74
FI	51,80	6,27
BP	48,20	6,74
IP	51,80	6,27
DP	48,20	6,74
C	0,058	16,12
DE	25,61	6,13

[Digite texto]

5 CONCLUSÕES

O agrossilício na dosagem de 400 kg ha⁻¹ resulta em melhores respostas quanto ao rendimento, composição química e digestibilidade no capim-marandu.

[Digite texto]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. D. **Métodos de amostragem de Brachiari brizantha cv. Marandu, parâmetros nutricionais e desempenho produtivo em novilhos submetidos a diferentes tipos de suplementos.** 2006. 83 p. Tese (Doutorado). UFV – Viçosa-MG, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis.** 15. ed. Arlington, 1990. v. 1. 1117 p.

ATHAYDE, A. A. R. *et al.* **Gramíneas do gênero Cynodon – cultivares recentes no Brasil.** Lavras-MG: UFLA, 2005. p. 1-14 (Boletim Técnico 73)

BALSALOBRE, M. A. A. *et al.* Composição Química e Fracionamento do Nitrogênio e dos Carboidratos do Capim-Tanzânia Irrigado sob Três Níveis de Resíduo Pós-pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 519-528, 2003.

BATISTA JUNIOR, I. S. **Índices de crescimento e aspectos bromatológicos de Brachiaria brizantha cv. Marandu frente à adubações com fontes diferentes de silício.** 2010. 45 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Camilo Castelo Branco, Descalvado-SP, 2010.

BELANGER, R. R. *et al.* Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329-336, 1995.

BÉLANGER, R.R; MENZIES, J.G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Fitopatologia Brasileira 28: S42-S45. 2003.

BRANCO, A. F. **Caracterização de alimentos para ruminantes.** 2006. Disponível em: <<http://www.potasal.com.br>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

[Digite texto]

BRASIL, E. C.; NASCIMENTO, E. V. S. do.; ALENCAR SOBRINHO, R. J. A. Produção de grãos de milho e atributos químicos de solo influenciados pela aplicação de escória de siderurgia em um Latossolo Amarelo distrófico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Fortaleza: SBCS, 2009. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/572578>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

BRENNECKE, K. **Fracionamento de carboidratos e proteínas e a predição da proteína e suas frações e das fibras em detergentes neutro e ácido de Brachiaria brizantha cv. Marandu por uma rede neural artificial**. 2006. 138 f. Tese (Doutorado). – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

CABRAL FILHO, S. L. S. **Efeito do teor de tanino do sorgo sobre a fermentação ruminal e parâmetros nutricionais de ovinos**. 2004. 77 p. Tese (Doutorado) USP/ESALQ – Piracicaba, 2004.

CABRAL, L. S. *et al.* Taxas de digestão das frações proteicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante, o feno de capim-tifton-85 e o farelo de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 33, p. 1573-1580, 2004.

CASTRO, G. H. F. *et al* Cinética de degradação e fermentação ruminal da Brachiaria brizantha cv. Marandu colhida em diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 6, p. 1538-1544, 2007.

CFSEMG . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aprox. Viçosa: imprensa universitária UFV, 1999. 359 p.

[Digite texto]

CHEONG, Y. W. Y.; HEITZ, A.; DEVILLE, J. The effect of silicium on sugar cane growth in pure nutrient solution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 24, n. 1, p. 113-115, 1973.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H.; Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, London, v. 16, p. 525-531, 1997.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, F. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2001.

DUNNETT, C. W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with control. **Journal American Statistical Association**, Alexandria, v. 50, p. 1096-1121, 1955.

FARIA, L. DE. A. *et al.* Efeito residual da silicatagem no solo e na produtividade do capim-marandu sob pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, p. 1209-1216, 2008.

FAWE, A. *et al.* Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E. *et al.* (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Studies in plants science, Amsterdam: Elsevier, 2001. Chapter 8. p. 159-169.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis System Analysis System. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FONSECA, I. M. *et al.* Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, 2009.

FRANCE, J. *et al.* A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, Philadelphia, v. 163, p. 99-111, 1993.

[Digite texto]

KARIM, H. M.; NETO, E. L. S.; BISERRA, T. T. Valor nutritivo e produtividade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú cultivada em diferentes sucessões de culturas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., (JC), 2011, Cáceres/MT. **Anais...** Cáceres/MT: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG, 2011. v. 7 (2011). Cód. 5447. ISSN ON LINE 2237-9258. CDROM 2178-7492.

KOEPPEL, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate vorsugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **GeographZeirsehr**, v. 6, p. 593-611, p. 657-679, 1900.

MARINHO, E. M. *et al.* Efeito da adubação silicatada no período das águas sobre a cinética da degradação ruminal da matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv Marandu em caprinos. **Associação Brasileira de Zootecnia**. Disponível em: <www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Efeito_da_aduba...>. Acesso em: 06 jun. 2013.

GARCIA, J. *et al.* Degradabilidade in situ de alimentos concentrados e do capim *Brachiaria decumbens* Stapf. em diferentes crescimentos vegetativos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 387-395, 2003.

GERASEEV, L. C. *et al.* Efeito do silicato de cálcio e magnésio em *Andropogon gayanus*, no período da seca, sobre a cinética da degradação ruminal da matéria seca em caprinos. In: ZOOTECA, 2008, João Pessoa, PB. **Resumos...** João Pessoa: UFPB, 2008.

HALL, M. B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 3226-3232, 2003.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon, **HortScience**, v. 38, p. 552-554, 2003.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v. 19, p. 107-149, 1967.

[Digite texto]

JULIATTI, F. C.; PEDROSA, M. G.; LANNA, R. M. Q.; BRITO, S. H. de; MELO, B. de. Influência de silício na redução de podridão de sementes por *Fusarium semitectum* na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 2, p. 57-63, 2004.

KORNDÖRFER, G. H. **Uso do silício na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2007. p. 9-11. (Informações Agronômicas 117)

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de Ca e Mg na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39.

MAGALHÃES, K. A. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos, determinação e estimativa do valor energético de alimentos para bovinos**. 2007. 281p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

MALAFAIA, P. A. M. *et al.* Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 27, n. 4, p. 790-796, 1998.

MALAVOLTA, E. **Potassium status of tropical and subtropical region soils**. In: MUNSON, R. D. **Potassium in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p. 164-200.

[Digite texto]

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro: Colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 200 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, Adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MAUAD, M.; *et al.* Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, n. 05, p. 867-873, 2003.

MELO, S. P.; KORNDORFE, G. H.; KORNDORFE, C. M. *et al.* Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 755-759, 2003.

MERTENS, D. R.; LOFTEN, J. R. the effects of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 63, p. 1437-1446, 1980.

MORAES, S. R. G. *et al.* Nutrição do feijoeiro e intensidade da antracnose em função da aplicação de silício e cobre. **Acta Scientiarum Agronomy** [online]. 2009, v. 31, n. 2, p. 283-291. ISSN 1807-8621.

NERI, D. K. P. *et al.* Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciencia Rural** [online]. 2009, v. 39, n.6, p. 1633-1638. ISSN 0103-8478.

NOCEK, J. E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 71, p. 1052-1069, 1988.

[Digite texto]

NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. p. 450.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed in weighted according to rate passage. **Journal of Agricultural Science**, Ottawa, v. 92, p. 499-503, 1979.

PACIULLO, D. S. C. *et al.* Características produtivas e qualitativas de pastagem de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 421-426, mar. 2003.

PEDREIRA, C. G. S. *et al.* Condições edafoclimáticas para produção de *Cynodon* spp. In: PEIXOTO, A. M. *et al.*, **Anais do manejo de pastagens de Tifton, Coast-cross e Estrela**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 85-114,

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na Agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2008. 9 p. (Circular Técnica 19).

POZZA, A. A. A. *et al.* Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira** [Online]. 2004, v.29, n. 2, p. 185-188. ISSN 0100-4158.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, p.739-744, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na Soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 67 p.

[Digite texto]

RAMOS, L. A. **Corretivos e condicionadores na correção do solo através de colunas de lixiviação**. 2003. 44 p. Graduação (Monografia) – Programa de Graduação em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Núcleo de Solos, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

REIS, R. A.; RODRIGUES, L. R. A. **Valor nutritivo das plantas forrageiras**. Jaboticabal: FCAVJ-UNESP/FUNEP, 1993. 26 p.

REIS, S. T. dos. **Fracionamento e degradabilidade ruminal de proteínas e carboidratos de forrageiras do gênero Cynodon**. 2005. 70 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2005.

SÁ, J. F. *et al.*, Fracionamento de carboidratos e proteínas de gramíneas tropicais cortadas em três idades. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 3, Junho 2010.

SANCHES, A. B. P. **Efeitos do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim - braquiarião [*Brachiaria brizantha* (Hoechst ex A. Rich.): Stapf. Cv. Marandu] sob intensidades de pastejo**. 2003. 140 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal)-Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

SANTANA, G. S. *et al.* Atributos químicos, produção e qualidade do capim braquiária em solos corrigidos com calcário e escória silicatada. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 57, n. 3, p. 377-382, mai/jun, 2010.

SANTOS BOTELHO, D. M. *et al.* Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 582-588, 2005.

SANTOS, M. V. F. DOS. *et al.* Produtividade e Composição Química de Gramíneas Tropicais na Zona da Matade Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 821-827, 2003.

[Digite texto]

SAS Institute. **A simple regression model with correction of heteroscedasticity**. Cary: SAS Institute, 2004. Disponível em: <<http://support.sas.com/rnd/app/examples/ets/hetero/>>. Acesso em: 19 abr. 2004.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2002. p. 235.

SILVA, F. B. Composição bromatológica do feno de *Cynodon* sp. cv. Tifton 85 solteiro ou consorciado com forrageiras de inverno sob dois métodos de desidratação. In: SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DE MATO GROSSO DO SUL, 3., 2010, Corumbá. **Anais...** Corumbá – MS:[s.n.], 2010.

SILVA, L. P. da; SILVA, L. S. da; BOHNEN, H. Componentes da parede celular e digestibilidade *in vitro* de palha de arroz (*Oryza sativa*) com diferentes teores de silício. **Ciencia Rural** [online]. 2005, v. 35, n. 5, p. 1205-1208. ISSN 0103-8478.

SILVEIRA JÚNIOR, E. G. *et al.* Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar: usina Catanduva. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção, 39., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: USP, 2003. p. 66.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. *et al.* A carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II – Carbohydrate and protein Availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, p. 3562-77, 1992.

SOUZA, E. A. de. *et al.* Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *brachiaria rizantha* cv. marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanho das raízes *scaptocoris carvalhoi* becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1518-1526, nov./dez., 2009.

THEODOROU, M. K. *et al.* A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 48, p. 185-197, 1994.

[Digite texto]

VALADARES FILHO, S. C.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; CAPPELLE, E. R. **Tabelas Brasileiras de Composição de alimentos para bovinos**. Viçosa-UFV. DZO; DPI, 2006. 297 p.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3596, 1991.

VAN SOEST, P. J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 24, n. 3, p. 834-844, 1965.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 119-120, 1967.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2^a ed. Corvallis: O e B Books, Cornell University Press, 1994. 476 p.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant-cell constituents. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 50, p. 50-55, 1967.

VILELA, H.; ANDRADE, R. A.; VILELA, D. **Efeito de níveis de Silmag (Silicato) sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do Capim Elefante Paraíso (*Pennisetum hybridum*)**. 2007. Agronomia o portal da ciência e tecnologia. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_efeitos> Acesso em: 12 fev. 2013.

VILELA, H. *et al.* Propriedades químicas e agronômicas de três fontes de silício disponíveis no mercado brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 17., 2007. Londrina, **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2007b. 1 CD-ROM.

[Digitized text]

VOLLENCE, J. J.; NELSON, C. J. Environmental aspects of forage management. In: BARNES, R. F. *et al.* (Eds.) **Forages: an introduction to grassland agriculture** 6th ed. Ames: Blackwell, 2003. p. 99-124

WALDO, D. R.; SMITH, L.W.; COX, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 55, p. 125-129, 1972.

WALDO, D. R.; SMITH, L. W.; COX, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 55, p. 125-129, 1972.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the Rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Science**, Tokio, v. 15, p. 1-58, 1965.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y. KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility, and deposition of silicon in the Rice plant. **Japan Journal Soil Science Plant Nutrition**, Tokio, v. 8, p. 107-111, 1962.

ZHU, Z. *et al.* Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.), **Plant Science**, Philadelphia, v. 167, p. 527-533, 2004.