

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

**EFEITO DO SILICATO NA PRODUÇÃO E
QUALIDADE DE *Brachiaria decumbens*
CULTIVADA EM SOLO DEGRADADO DO
TRIÂNGULO MINEIRO**

Roberto Pereira Fagundes
Médico Veterinário

UBERLÂNDIA – MINAS GERAIS – BRASIL
2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

**EFEITO DO SILICATO NA PRODUÇÃO E
QUALIDADE DE *Brachiaria decumbens*
CULTIVADA EM SOLO DEGRADADO DO
TRIÂNGULO MINEIRO**

Roberto Pereira Fagundes

Orientadora: Profa. Dra. Clotilde Maria Korndörfer

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária - UFU, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias (Produção Animal), para a obtenção do título de Mestre.

UBERLÂNDIA – MG

Agosto de 2005

AGRADECIMENTOS

A DEUS, porque sem Ele nada do que foi feito seria possível.

Aos meus queridos pais pelo ensinamento, amor, incentivo e por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu irmão pelo seu carinho e amizade.

A professora Clotilde Maria Korndörfer, pela orientação não só na parte acadêmica, mas nas coisas simples da vida, pela amizade e acima de tudo pelo incentivo para nunca desanimar.

Ao professor Gaspar Henrique Korndörfer, pela orientação, companheirismo e amizade.

A todos os meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Aos alunos, estagiários e funcionários dos laboratórios de Solos e LAFER da Universidade Federal de Uberlândia, pelo auxílio prestado nas várias etapas deste trabalho.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, por conceder-me a oportunidade da realização do meu trabalho através das análises de produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro*.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Silício nas plantas superiores.....	3
2.2. Gramíneas e a produção animal no cerrado.....	7
2.3. Silício e a nutrição animal.....	9
2.4. Silício e os microrganismos do rúmen.....	10
2.5. Características do Silicato e do Calcário.....	14
3. MATERIAL E MÉTODO.....	19
3.1. Caracterização do experimento.....	19
3.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	20
3.3. Implantação e condução.....	21
3.4. Análise do solo.....	21
3.4.1. Análise de silício extraível no solo.....	22
3.5. Produção de matéria seca.....	22
3.6. Análise do tecido vegetal.....	23
3.6.1. Análise de silício na parte aérea.....	23
3.6.2. Extração de silício pela planta.....	24
3.6.3. Produção de gases e degradabilidade ruminal <i>in vitro</i>	24
3.7. Dados climatológicos.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1. Produção de matéria seca.....	26
4.2. Silício na parte aérea.....	28
4.3. Silício extraído na parte aérea.....	31
4.4. Silício no solo.....	33
4.5. Cálcio, magnésio e pH do solo.....	34
4.6. Caracterização bromatológica.....	39
4.7. Produção de gases <i>in vitro</i>	41

4.8. Degradabilidade ruminal <i>in vitro</i>	44
5. CONCLUSÕES.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

EFEITO DO SILICATO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE *Brachiaria decumbens* CULTIVADA EM SOLO DEGRADADO DO TRIÂNGULO MINEIRO

RESUMO - Os efeitos benéficos da adubação com silício (Si) têm sido observados em várias espécies vegetais, especialmente quando estas são submetidas a estresse, seja ele biótico ou abiótico. Aumentos de produtividade e resistência a pragas e doenças estão entre os principais benefícios do Si para as plantas que o absorvem e o acumulam na parte aérea, uma das possíveis razões para maior adaptabilidade e resistência do capim braquiária nas áreas de acidez e baixa fertilidade do solo das regiões do cerrado brasileiro. Objetivou-se avaliar o efeito da adubação superficial com silicato e calcário sobre algumas características químicas do solo; concentração de Si na folha, produção de matéria seca, composição bromatológica, produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro* da gramínea *Brachiaria decumbens*. Para tal foi utilizado o delineamento em blocos casualizado, com cinco doses de silicato: 0, 880, 1320, 1760 e 2640 kg.ha⁻¹ e uma dose de 1760 kg.ha⁻¹ de calcário, aplicados superficialmente com leve incorporação em pastagem de *Brachiaria decumbens* na região do Triângulo Mineiro. Foram realizados cinco cortes na parte aérea da braquiária aos 45, 75, 103, 166 e 382 dias após a instalação do experimento, sendo analisadas as variáveis: matéria seca, concentração de Si foliar e Si acumulado na parte aérea. O material proveniente do terceiro corte foi usado nas avaliações bromatológicas, de produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro*. Procederam-se também duas amostragens de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm aos 5 e 12 meses após a implantação do experimento, para avaliar o pH (CaCl₂), Ca, Mg e Si no solo. Os resultados demonstraram que o silicato não afetou a produção de matéria seca, porém aumentou as concentrações de Si na parte aérea da planta, comprovando ser a *Brachiaria decumbens* uma espécie acumuladora de Si. O silicato também elevou os teores de Si e Ca no solo, entretanto o mesmo não se mostrou significativo para os valores de pH e Mg no solo. Com relação à comparação entre o silicato e o calcário este não apresentou diferenças entre as médias estudadas, tanto na análise das variáveis relacionadas ao solo como à parte aérea da braquiária. Não houve efeito

da concentração de Si na folha sobre a composição bromatológica, a não ser na fração mineral do material estudado. A presença do Si em altas concentrações na folha da gramínea *Brachiaria decumbens* (12,7 g.kg⁻¹ na dose testemunha e 16,0 g.kg⁻¹ na dose de 2640 kg.ha⁻¹ de silicato) não afetou a cinética de fermentação na produção de gases ou sua degradabilidade ruminal *in vitro*.

Palavras-Chave: braquiária, degradabilidade ruminal *in vitro*, silicato, técnica de produção de gases *in vitro*

SILICATE EFFECT ON THE *Brachiaria decumbens* PRODUCTION AND QUALITY ON DEGRADED SOIL OF THE TRIANGULO MINEIRO REGION

ABSTRACT - The beneficial effects of silicate fertilization have been observed in several vegetable species, especially when submitted to stress, biotic or abiotic. Increases of productivity and resistance to pest and diseases are among the main benefits of Silicon (Si) to plants that absorb and accumulate it in the aerial part, one of the possible reasons for larger adaptability and resistance of the braquiária grass in the areas of acidity and low fertility soils of the areas of the Brazilian savannah, like the Triângulo Mineiro region. The objective of this work was to evaluate the effect of the superficial fertilization with silicate and limestone on some chemical characteristics of the soil; Si accumulation on the aerial parts of the grass, dry matter production, forage quality, *in vitro* gas production and ruminal degradability of *Brachiaria decumbens*. Randomized block design was used with five doses silicate: 0, 880, 1320, 1760 and 2640 kg.ha⁻¹ and one dose of 1760 kg.ha⁻¹ of limestone, applied superficially and incorporated to 5 cm, approximately. Five cuts were accomplished in the aerial part of the *Brachiaria decumbens* at 45, 75, 103, 166 and 382 days after the experiment installation and the followed variables were analyzed: dry matter production, Si accumulation in the aerial part. Vegetal samples from the third cut was used for quality grass evaluation and *in vitro* degradability using the gas production technique. Two seasons were used to collect soil samplings in the depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm to the 5 and 12 months after the implantation of the experiment, to evaluate the pH (CaCl₂), Ca, Mg and Si in the soil. The results demonstrated that the silicate did not affect the production of dry matter; however it increased the amount of Si in the aerial part of the plant, confirming that the *Brachiaria decumbens* is an accumulative species of Si. Silicate also elevated the Si and Ca in the soil; however the same was not shown significant for the pH values and Mg in the soil. Regarding the comparison between the silicate and the limestone this didn't present differences among the studied averages, so much in the analysis of the variables related to the soil as the aerial part of the braquiária. There was not Si effect on the grass quality composition. The presence of the Si in high amounts on

aerial part of the *Brachiaria decumbens* grass (12.7 g.kg⁻¹ on dose witness and 16.0 g.kg⁻¹ on dose of 2640 kg.ha⁻¹ of silicate) it did not affect the fermentation kinetics in the *in vitro* degradability using the gas production technique.

Key Words: Braquiária, *in vitro* gas production technique, *in vitro* ruminal degradability, silicate

1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre, estando logo após do oxigênio. Compostos contendo o elemento Si acumulam-se nos tecidos das plantas representando entre 0,1 a 10% da matéria seca (RAIJ, 1991). A definição das funções bioquímicas específicas de elementos traços como o Si na nutrição das espécies mamíferas e das plantas ainda não foram bem esclarecidas. No entanto, em várias espécies vegetais a sua absorção traz inúmeros benefícios, para o crescimento e desenvolvimento, especialmente quando as plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (EPSTEIN, 1999). É reconhecido que este elemento influencia a resistência apresentada pelas plantas em resposta a ataques de insetos, nematóides, doença, estado nutritivo, transpiração e, possivelmente, alguns aspectos de eficiência fotossintética (DEREN, 1999).

Mais de 70 milhões de hectares de vegetação nativa no Brasil foram substituídos por pastagens de gramíneas (LASCANO; EUCLIDES, 1996; PIZZARRO *et al.*, 1996). A substituição foi realizada, basicamente, por espécies de origem africana, sendo as gramíneas do gênero *Brachiaria* as forrageiras de maior incidência, que demonstraram alta adaptabilidade e resistência a solos de baixa fertilidade e a épocas de intenso déficit hídrico. Uma das razões da resistência do capim braquiária, pode ser sua capacidade de absorver e acumular Si na epiderme das folhas. Este acúmulo talvez atenuar os efeitos tóxicos do alumínio, manganês e ferro como ocorre em outras gramíneas (LIAN, 1976; Horigushi, 1988; MA; TAKAHASHI, 1990), mas também formaria uma barreira física para regular a transpiração, provável motivo da resistência deste capim ao déficit hídrico no cerrado, além de proteger as folhas contra o ataque de pragas e doenças.

As plantas superiores podem ser classificadas em relação à absorção de Si, em acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras, sendo as gramíneas em geral classificadas como acumuladoras de Si (MIYAKE; TAKAHASHI, 1983; KORNDÖRFER *et al.*, 1999a, b).

Apesar de ser um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, os cultivos consecutivos pode diminuir o teor de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção (ARANTES, 1997). O ecossistema dos cerrados é caracterizado por solos que apresentam baixos valores de pH, excesso de Alumínio (Al) trocável e baixa disponibilidade de Si para as plantas. Atualmente o calcário tem sido amplamente utilizado para correção do pH dos solos ácidos, mas o silicato vem se tornando uma nova opção, pois foi demonstrado que este pode corrigir em profundidade o pH de solos sob pastagem mesmo sem a atividade de incorporação (KORNDÖRFER *et al.*, 2001).

Os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos e peroxidases (EPSTEIN, 1999). A lignina gera uma estrutura capaz de proteger e resistir ao ataque microbiano. Apesar dos estudos sobre a influência do Si na microbiota ruminal serem escassos e não unânimes, o Si pode vir a afetar o acesso dos microrganismos às gramíneas no rúmen assim como o faz no meio ambiente. Desta forma, podendo intervir na eficiência de utilização das gramíneas pelos microrganismos e conseqüentemente pelos ruminantes.

Objetivou-se avaliar o efeito da adubação superficial com silicato, em diversas doses, em comparação ao calcário, sobre algumas características químicas do solo (pH, Ca, Mg e Si), concentração de Si foliar, produção de matéria seca, composição bromatológica, produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro* em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Silício nas plantas superiores

O silício não está no grupo dos elementos essenciais para o crescimento de certas plantas, mas a questão da sua essencialidade tem sido muito discutida por nutricionistas vegetais sem, contudo que estes chegassem a um aspecto conclusivo. No entanto, é indiscutível o seu efeito no desenvolvimento e na produtividade de muitas gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda, e algumas espécies não gramíneas como alfafa, feijão, tomate, alface e repolho. Nos estudos abordando tais vegetais, o aumento de produtividade observado está relacionado com o aumento da disponibilidade de Si no solo para as plantas (MARSCHNER, 1995; KORNDÖRFER *et al.*, 1999a; KORNDÖRFER; LEPSCHI, 2001).

No interior da planta, 99% do total de Si acumulado encontram-se na forma de ácido silícico polimerizado, o qual é de difícil solubilização. O restante, menos de 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1981). Jones e Handreck (1967) sugerem que a sílica é absorvida pelas gramíneas através de um fluxo de massa por processo não seletivo, com o elemento acompanhando a absorção de água pela planta como ácido monossilícico, H_4SiO_4 . Já as dicotiledôneas, por outro lado, possuem um mecanismo que evita a absorção de quantidades elevadas de Si (RAIJ, 1991).

Na planta o Si concentra-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, acumulando-se nas células epidérmicas (SANGSTER; HODSON; TUBB, 2001), podendo ser encontrada em pequenas quantidades nos grãos e nas raízes. Os depósitos de Si nos vegetais são influenciados pela idade da planta, tipo e localização dos tecidos envolvidos e pela absorção através das raízes, além da transpiração. Esta ampla variação das concentrações de Si no tecido vegetal é resultado, tanto da fisiologia das diferentes espécies, quanto do ambiente, onde as plantas se desenvolvem. Gallo *et al.* (1974) observaram uma absorção diferenciada entre oito espécies de gramíneas. As concentrações de Si encontradas na matéria

seca dos capins foram: Bermuda – 8,0 g.kg⁻¹; Braquiária – 10,8 g.kg⁻¹; Gordura – 12,5 g.kg⁻¹; Batatais – 13,1 g.kg⁻¹; Pangola – 13,5 g.kg⁻¹; Colonião – 14,8 g.kg⁻¹; Elefante variedade Napier – 19,3 g.kg⁻¹ e Jaraguá – 39,1 g.kg⁻¹. Onde o capim Jaraguá apresentou concentrações de Si entre duas a cinco vezes mais elevados em relação às demais forrageiras. Ma; Miyake e Takahashi (2001) acreditam que as diferenças de absorção de Si ocorrem devido principalmente, às características das raízes das plantas envolvidas. O conteúdo médio de sílica das raízes é um décimo da concentração do caule. Testes conduzidos com sílica radioativa (³¹Si) demonstraram que a sílica é translocada no caule poucas horas após ter sido absorvida pelas raízes, sendo mencionado que a translocação é regulada pela taxa de transpiração (SANGSTER; HODSON; TUBB, 2001).

O arroz é uma das gramíneas onde os efeitos do Si são mais bem conhecidos. Segundo Marschner (1995) e Takahashi (1995), o Si acumulado na planta de arroz reduz a taxa de transpiração, diminuindo o consumo de água. O Si é um elemento químico envolvido em funções físicas de regulação da transpiração e capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior da planta dificultando, também o ataque de insetos sugadores e herbívoros (McNAUGHTON; TARRANTS, 1983; EPSTEIN, 2001).

Faria (2000) obteve uma resposta linear para produção de grãos de arroz de sequeiro com a aplicação de doses de Si, quando a tensão de água no solo foi de 60% da capacidade de campo, isto é, quando estas foram submetidas a um estresse hídrico. Todavia quando o mesmo solo foi submetido a uma condição ótima de umidade, 80% da capacidade de campo, as doses de Si não afetaram a produção de grãos. Sendo um indicativo de que o Si possui um papel importante no aumento da tolerância das plantas de arroz ao déficit hídrico.

Até recentemente o Si era encarado apenas como uma barreira mecânica passiva de defesa da planta contra o estresse ambiental. O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de Si na forma de sílica amorfa (SiO₂.nH₂O) na parede celular que provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, ao qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Este aspecto pode ser de extrema importância para as gramíneas que crescem em solos do cerrado onde o período de estiagem é longo

e severo. A acumulação de sílica também torna a planta mais rígida e resistente a herbivoria (MA, 1988; MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001; FARIA, 2000).

Entretanto, a proteção mecânica, já não é a única hipótese para a explicação da função do Si na planta. Fawe *et al.* (1998) identificaram uma proteção ativa induzida pelo Si dentro das células vegetais. Estes autores demonstraram que o Si inicia uma seqüência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímica na planta infectada de pepino. Epstein (1999) sugere que o Si possa agir como um segundo mensageiro dentro da célula afirmando, também, que os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases.

A resistência induzida pelo Si poderia contribuir para reduzir a intensidade da bruzone somente com a barreira física de SiO_2 na cutícula da planta (SANCHES, 2003). Apesar de extensivas pesquisas, o exato mecanismo pelo qual o Si reduz a bruzone e outras doenças do arroz ainda são desconhecidas. Segundo Sanches (2003) outros pesquisadores têm sugerido que o Si atua em culturas como o melão e o trigo para estimular mecanismos de defesa internos contra patógenos por aumentar o nível de inibição. Compostos fenólicos e a atividade de chitinases, β -1,3-glucanases, peroxidase, phenylalanine ammonia-lyase, e polyphenoloxidase (CARVER; ZEYEN; AHLSTRAND, 1987; MENZIES *et al.*, 1991; CHLERIF *et al.*, 1992; FAWA *et al.*, 1998), estariam relacionados a estes mecanismos de defesa da planta.

A produção de sementes pode ser positivamente influenciada pelo Si. O rendimento de grãos em cultivares de arroz de sequeiro aumentou de forma linear com a fertilização silicatada e foi correlacionada positivamente com os teores de silício e cálcio no solo (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001).

As plantas superiores podem ser classificadas em relação ao acúmulo de Si em: acumuladoras com concentração variando de 5 a 7,5% de Si, dentre elas algumas gramíneas como o arroz, intermediárias de 0,5 a 2,5% de Si (cereais, cana-de-açúcar e algumas dicotiledôneas) e não acumuladoras com menos de 0,25% de Si, incluindo a maioria das dicotiledôneas como as leguminosas e muitas espécies arbóreas (MIYAKE; TAKAHASHI, 1983; KORNDÖRFER *et al.*, 1999a, b).

Sanches (2003) analisou concentrações de Si nas folhas de *Brachiaria brizantha* aos 45 dias após a aplicação de silicato de cálcio e observou uma variação de $1,2 \text{ g.kg}^{-1}$ na dose testemunha sem aplicação de silicato para $1,5 \text{ g.kg}^{-1}$ na dose de 6000 kg.ha^{-1} , evidenciando uma resposta positiva aos tratamentos com silicato, para concentração de Si no tecido das gramíneas. Segundo Melo (2005) as concentrações médias de Si na parte aérea do capim Marandu variaram de forma linear com o fornecimento de Si, oscilando de 9,9 a $15,1 \text{ g.kg}^{-1}$, dentro das doses de 150 a 450 mg.dm^{-3} respectivamente, para as condições de baixo e alto suprimento de Si.

Analisando a presença de Si em gramíneas C-3 e os efeitos na qualidade e preferência das forragens por ovinos, Shewmaker *et al.* (1989) observaram que 32% do total de Si da folha permaneceram na fibra detergente neutro (FDN) e 76% na fibra detergente ácido (FDA), sendo que as porções insolúveis de Si aumentavam com a idade da planta. Apesar de vasto material na literatura que associa Si com inibição de consumo e efeito negativo na digestibilidade de gramíneas, estes autores verificaram que a preferência dos animais estava correlacionada positivamente com digestibilidade da matéria seca, mas não estava relacionada com medidas de fibra ou de Si como supunham.

A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si, mas os solos do cerrado, de modo geral, são deficientes neste elemento (BRADY, 1992). Sendo que os cultivos consecutivos também podem diminuir os teores de Si no solo até o ponto que a adubação silicatada seja interessante para a obtenção de máximas produções (ARANTES, 1997).

Apesar dos solos de cerrado serem pobres em Si disponível para as plantas, várias espécies nativas do cerrado têm demonstrado ser acumuladoras deste elemento (PINHEIRO FILHO, 1999; KORNDÖRFER; ABDALLA; BUENO, 2001). As principais espécies podem apresentar altas concentrações de Si, e em vários casos com valores superiores ao arroz, reconhecidamente uma gramínea altamente acumuladora (PINHEIRO FILHO, 1999; KORNDÖRFER *et al.*, 1999a; KORNDÖRFER; ABDALLA; BUENO, 2001). Possivelmente pelo desenvolvimento de algum mecanismo que proporcione maior absorção de Si por estas plantas. Muitas forrageiras introduzidas neste ambiente, como as braquiárias, também são

consideradas acumuladoras (MELO *et al.*, 2003), e provavelmente, esta característica tenha sido fundamental para a excelente adaptação e intensa proliferação destas gramíneas na região do cerrado.

2.2. Gramíneas e a produção animal no cerrado

No último censo agropecuário realizado em 1996 o efetivo do rebanho bovino estaria ao redor de 158 milhões de cabeças, alimentando-se basicamente de pastagens, valores estes hoje em dia que ultrapassam os 195 milhões (IBGE, 2005). Mas apenas uma pequena parte do abate total de bovinos são representados por animais em confinamento e, mesmo neste sistema, a maioria dos novilhos terminados foram criados e recriados a pasto até atingirem peso entre 350 e 380 kg de peso vivo (ALMEIDA, 1998). Grande parte destes animais sobrevivem alimentando-se de forrageiras desenvolvidas em solos de baixa fertilidade e em áreas sujeitas a períodos de déficit hídrico como é o caso dos animais criados na região de cerrado.

As gramíneas naturais e introduzidas com sucesso no cerrado formam, praticamente, a maior parte dos recursos alimentares de que dispõem os ruminantes na região. Até o início dos anos 70, as terras do cerrado eram utilizadas para a pecuária através da prática das queimadas que forneciam pastagens por dois ou três meses no ano como resultado da utilização da rebrota das gramíneas nativas, resultando em subaproveitamento das propriedades rurais e de danos ecológicos decorrentes. O cerrado brasileiro, detentor de 24,4% da área total do território nacional, apresentou, aproximadamente, 40 milhões de hectares de pastos (LASCANO; EUCLIDES, 1996; PIZZARRO *et al.*, 1996).

O gênero *Brachiaria* ocupa mais de 50% da área total de pastagens cultivadas. Cerca de 85% da área ocupada por braquiárias pertence a apenas duas espécies: *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, sendo a primeira menos exigente quanto a parâmetros edafoclimáticos (ALCÂNTARA; ALCÂNTARA, 1980; SOARES FILHO, 1994). Ambas apresentam concentrações de raízes em camadas mais profundas do solo o que auxilia na resistência ao estresse hídrico (SOARES FILHO, 1994).

É importante mencionar que o estabelecimento e manutenção das pastagens, principalmente de gramíneas tropicais, estão sujeitos a vários fatores que, uma vez menosprezados, podem comprometer a produção animal. A consorciação de outras forrageiras com a braquiária não surtiu efeito em longo prazo provavelmente pela agressividade desta espécie (ZIMMER *et al.*, 1994), fator que pode ou não estar relacionado com a sua capacidade de absorver e acumular Si. Devendo este aspecto ser mais bem esclarecido como já está sendo proposto por grupos dedicados ao estudo deste elemento.

Para estabelecer métodos racionais de utilização de pastagens, é necessário conhecer o potencial produtivo das forrageiras consumidas pelos animais (LEITE; EUCLIDES, 1994). Geralmente, as decisões com relação às plantas forrageiras estão baseadas na adaptação destas ao ambiente e a sua produção de massa verde. Valores de produção de matéria seca por hectare são comumente utilizados para inferir sobre produção animal. No entanto, nem sempre existe uma correspondência entre produção de matéria seca e a produção animal porque esta pode ser afetada pela perda do valor nutritivo devido à maturidade da planta, modificação da relação folha:haste, seletividade, consumo do animal e fatores antinutricionais (MERCHEN; BOURQUIN, 1994).

Agarie *et al.* (1992) afirmam que o Si pode ser uma das razões para o aumento da matéria seca em função da maior atividade fotossintética. A capacidade de fotossíntese da planta pode ser aumentada devido a um melhor arranjo das folhas, com folhas mais eretas, por causa da maior absorção do Si pela planta. Os mesmos autores também observaram um melhor aproveitamento da água do solo provavelmente devido à redução na transpiração. Como o aumento de Si está associado positivamente ao estresse, gramíneas nativas coletadas em um período de 2 anos no oeste dos Estados Unidos aumentaram o seu conteúdo de SiO₂ em 5% na matéria seca em junho para 8% em novembro.

O Si também interage positivamente com o nitrogênio, fósforo e o potássio. Aplicações de doses adequadas de nitrogênio na presença de Si aumentaram a produção de matéria seca, a qual decresceu quando doses excessivas de nitrogênio foram usadas (HO; ZANG; ZHANG, 1980). O nitrogênio faz com que as folhas fiquem flácidas, enquanto que o Si tornam-nas mais eretas, aumentando a taxa

fotossintética e conseqüentemente a produção de grãos (YOSHIDA; NAVASERO; RAMIRES, 1969), no caso do arroz.

2.3. Silício e a nutrição animal

Os herbívoros, por sua vez, podem utilizar estratégias alimentares que minimizam os efeitos das substâncias secundárias. Quando a oferta de alimento é grande, os animais tendem a evitar a ingestão das plantas que contêm estes compostos, mas quando o pasto torna-se escasso, como na época da seca, os animais se vêem forçados a ingerí-las. Portanto, o comportamento de gramíneas nativas e introduzidas em todo o ecossistema cerrado com relação a este "defensivo ecológico" necessita ser avaliado ao longo, com seus efeitos específicos na qualidade da forragem oferecida aos ruminantes.

A definição das funções bioquímicas específicas de elementos classificados traços como o Si na dieta das espécies mamíferas ainda não foi totalmente compreendida. Há mais de 100 anos a sílica era recomendada para uso como marcador de digesta em estudos de nutrição animal porque se acreditava que não era digerida ou absorvida (MERCHEN, 1988). O seu uso e viabilidade têm sido estudados, pois foi demonstrado que o Si é relativamente solúvel nas condições ruminais, em pH relativamente alto, podendo ser absorvido no trato digestivo e excretado nas fezes e urina (JONES; HANDRECK, 1967; VAN SOEST, 1994). O rim é a maior rota de excreção do Si absorvido (BENKE; OSBORN, 1979) e desta forma, o Si urinário pode ser um bom índice para detectar a sua absorção a partir do trato digestório (JUGDAOHSINGH *et al.*, 2002).

O elemento Si também é um constituinte importante do organismo animal, pois é necessário para a síntese do colágeno, formação da matriz óssea e calcificação óssea (CARLISLE, 1974). Sendo determinado como elemento essencial para aves e ratos (UNDERWOOD, 1977). O estudo deste elemento em ruminantes até pouco tempo estava mais restrito apenas ao aspecto clínico de formação de cálculos renais (STEWART; EMERICK; PRITCHARD, 1990) e apenas mais recentemente iniciou-se a observação dos efeitos deste mineral na eficiência de síntese microbiana no rúmen (McALLISTER *et al.*, 1994; BAE *et al.*, 1997; BAAH *et*

al., 1999). Van Soest (1994) sugeriu que a sílica, fazendo parte da estrutura da parede celular das gramíneas, poderia inibir a digestão e diminuir o consumo devido à indução de bordas ásperas. Contudo, a concentração de Si, não afetou a preferência ou consumo na seleção de diferentes gramíneas por ovinos (SHEWMAKER *et al.*, 1989).

2.4. Silício e os microrganismos do rúmen

A maximização da eficiência de utilização dos recursos alimentares disponíveis aos ruminantes está intimamente ligada a ótimas condições para o crescimento microbiano do rúmen. Os ruminantes, por sua vez, diferem na sua habilidade de digerir as diferentes frações dos vegetais.

Dois componentes estruturais nas forragens, a sílica e a lignina são conhecidos por contribuírem para a digestão incompleta das plantas (VAN SOEST; JONES, 1968), influenciando a adesão dos microrganismos ruminais a superfície dos vegetais ingeridos e afetando a digestibilidade (UDÉN, 1984). O Si pode ser encontrado em depósitos nos tecidos da epiderme, na forma de Si associado com a celulose como uma segunda camada da epiderme, e também como Si ligado a compostos orgânicos em outras células (BAAH *et al.*, 1999).

O Si está presente nas paredes celulares de forragens e subprodutos de cereais usados na alimentação animal em quantidades variáveis, muito mais em forragens tropicais do que temperadas (CHESSON; ØRSKOV, 1984). Sendo que se este elemento formar substâncias que previnam a aderência microbiana pode existir uma inibição da digestão da celulose (McALLISTER *et al.*, 1994; BAE *et al.*, 1997). O número de trabalhos que apresentam alguma interação química do Si com outros constituintes da parede celular são restritos (CARPITA, 1996; FAWE *et al.*, 1998), mas alguns autores sugerem que o Si pode estar envolvido em anéis Si - aromáticos entre lignina e carboidratos (INANAGA; OKASAKA, 1995; INANAGA; OKASAKA; TANAKA, 1995).

As paredes celulares contêm três tipos de polissacarídeos estruturais: celulose, hemicelulose e pectina. Alguns estudos demonstram que, quando presente nas plantas, o Si pode estar relacionado negativamente com a degradabilidade de

polissacarídeos no rúmen e, em algumas situações, causando depressão da digestibilidade da matéria seca entre uma a três vezes o seu próprio peso (VAN SOEST; JONES, 1968; SMITH; NELSON; BOGGINO, 1971). Estudos de digestibilidade *in vitro* têm apresentado evidências de que a sílica reduz a digestibilidade da parede celular. Neste caso foram utilizadas plantas cultivadas em hidroponia com e sem adição de silício ou com a adição de sílica solúvel (HARTLEY, 1981; SHIMOJO; GOTO, 1989). Van Soest (1994) afirma que a depressão na digestibilidade continua intrigante uma vez que outros dois experimentos com uso de fertilizantes silicatados em cultura de arroz em hidroponia e com gramínea não demonstraram efeito do Si sobre a digestibilidade, sugerindo que outros efeitos da sílica em forragens devem ser explorados. Hartley (1981) afirmou que o nível de sílica normalmente encontrado em palhadas ou subprodutos de cereais de clima temperado não influenciam a sua digestibilidade, mas sugeriu que estudos em produtos de clima tropical deviam ser desenvolvidos. Desta forma, não está muito bem esclarecido em que situações e em quais concentrações o Si pode afetar a digestibilidade nos ruminantes.

Woodward; Akin e Hoveland (1989) estudando a digestibilidade de duas cultivares de *Cynodon dactylon*, não observaram fatores a nível estrutural da planta que pudessem contribuir para as diferenças entre as suas digestibilidades, em função do Si. A relação entre a distribuição de Si e a colonização da cutícula da palha de arroz foi examinada por Bae *et al.* (1997) com degradabilidade *in situ*, microscopia eletrônica e uso de energia dispersiva de raio-X. Estes autores observaram que a sílica cobria a maior parte da superfície da folha e que a invasão e a colonização da cutícula intacta ocorriam através dos tricomas, que não continham sílica.

Provavelmente, deva existir uma variação grande no conteúdo de Si entre as forragens, mesmo de mesma espécie, que crescem em diferentes solos resultando em diferenças na qualidade nutritiva e no eficiente aproveitamento pelos ruminantes. Sabe-se que estes animais, ao pastejarem freqüentemente sobre plantas ricas em produtos secundários podem desenvolver uma flora microbiana ruminal adaptada a aliviar, não todos, mas pelo menos alguns efeitos destas substâncias químicas de função defensiva (CHEEKE, 1989). É o caso da mimosina, alcalóide encontrado na

Leucaena leucocephala, uma leguminosa também muito utilizada no cerrado como banco de proteína para ruminantes. Trabalhou-se durante muito tempo na seleção de variedades com baixo teor de mimosina, mas foi encontrada uma bactéria ruminal capaz de degradar e utilizar estes compostos, aliviando assim os efeitos desta substância (TANGENDJAJA; LOWRY; WILLS, 1985).

A adesão dos microrganismos e suas enzimas ocorrem, provavelmente, no próprio substrato acessível à fermentação, que deve estar localizado na superfície da planta ou em partes que foram expostas ao ataque microbiano por mastigação, ruminação ou processamento. Enzimas secretadas pelas bactérias celulolíticas são capazes de penetrar nos poros da parede celular. Em estudo com pele de *Maniot esculenta* (mandioca) e folhas de *Figus exasperata* foram verificados que depósitos de Si na epiderme inviabilizavam a colonização pelos microorganismos e, quando esta ocorria, era de "dentro para fora", conforme descrito por McAllister *et al.* (1994), sendo facilitada por lesões e partes maceradas no vegetal. Baah *et al.* (1999) mencionaram também que estes depósitos de sílica foram, provavelmente, a causa de uma grande lag-phase na digestão *in situ*.

Grande parte dos nutrientes utilizados pelos ruminantes alimentados a pasto é resultado da fermentação dos substratos por microrganismos no rúmen. Os produtos finais da fermentação dos substratos por estes microrganismos são, fundamentalmente, CO₂, CH₄, ácidos graxos voláteis (AGVs) e massa microbiana. A massa microbiana sintetizada servirá como proteína para o animal hospedeiro ao ser absorvida no intestino. A técnica de produção de gases *in vitro* possui o potencial de caracterizar o padrão de fermentação dos carboidratos das forragens (NAGADI *et al.*, 1998). Ela tem sido desenvolvida para acessar a dinâmica da digestão do ruminante. Relações entre o padrão da produção de gases de alimentos e parâmetros *in vivo* como digestibilidade (KHAZAAL *et al.*, 1993), consumo de alimento e taxa de crescimento (BLÜMMEL; ØRSKOV, 1993), degradabilidade *in situ* (SILESHI *et al.*, 1996) e digestibilidade *in vivo* (RYMER; GIVENS, 1998) têm sido estudadas.

A quantidade de gases acumulada na técnica de fermentação *in vitro* (THEODOROU *et al.*, 1994) é o resultado dos produtos gasosos finais da fermentação do substrato, lise dos microrganismos do rúmen e da liberação de CO₂

quando os AGVs são neutralizados com um tampão carbonato (BEAUVINK; SPOELTRA, 1992). A produção de gases está relacionada com a digestibilidade, apesar do conhecimento que o *pattern* fermentativo (relação propionato:acetato) afetará a quantidade total de gás produzida por unidade de carboidrato fermentado (UDÉN, 1984).

Diversos são os modelos matemáticos utilizados para expressar os dados da cinética fermentativa, sendo que os mais comumente presentes nos trabalhos científicos segundo Bueno (2002) são os de Ørskov e McDonald (1979) e o de France *et al.* (1993). Através do modelo de Ørskov e McDonald (1979), é possível estimar a degradabilidade potencial e efetiva dos alimentos em estudo, bem como a taxa que ocorre esta degradação. Este modelo, no entanto foi modificado por McDonald (1981) e pode ser descrito como:

$$p = A; \quad t \leq t_o \quad \text{Equação (1)}$$

$$p = a + b \times (1 - e^{-c \times t}); \quad t > t_o \quad \text{Equação (2)}$$

onde: p é a degradabilidade do alimento no tempo t ; A representa a fração prontamente solúvel; t_o é o tempo de colonização para início da degradação microbiana; a e b são constantes matemáticas, cuja soma ($a + b$) corresponde numericamente a degradabilidade potencial do alimento; e c é a taxa de degradação.

Destas variáveis ainda pode-se obter a fração insolúvel potencialmente fermentecível do alimento (B):

$$B = (a + b) - A \quad \text{Equação (3)}$$

A degradabilidade efetiva dos alimentos (p_{efet}), que é o resultado gerado mais próximo da dos valores reais, pode ser calculada da seguinte forma:

$$p_{efet} = a + b \times [c / (c + k_e)] \quad \text{Equação (4)}$$

onde k_e representa a taxa de saída da digesta do rúmen.

Como a técnica de produção de gases é mais sensível que a técnica *in situ*, o modelo exponencial de primeira ordem de Ørskov e McDonald (1979) não se ajusta adequadamente aos dados subestimando o tempo de colonização inicial. Desta forma o modelo de France *et al.* (1993), representa melhor o perfil sigmoidal da cinética fermentativa e é dado por:

$$V = V_f \times \{1 - e^{[-b \times (t - t_o) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{t_o})]}\} \quad \text{Equação (5)}$$

onde V é o volume acumulado de gases produzidos até o tempo t ; V_f é o volume assintótico dos gases produzidos; b e c são constantes do modelo; e t_0 representa um tempo de colonização discreto.

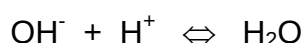
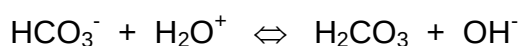
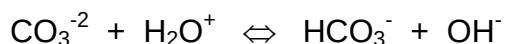
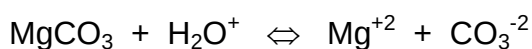
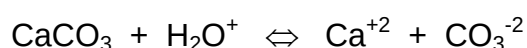
A taxa de fermentação (μ), para $t > t_0$, é dada por:

$$\mu = b + c / 2 \times \sqrt{t} \quad \text{Equação (6)}$$

Como pode ser observado na (Equação 6), a taxa de fermentação é variável de acordo com o transcorrer do tempo. Este modelo introduziu o conceito de dependência do tempo para a fermentação (SCHOFIELD, 2000). Isso está mais próximo da realidade, pois diferentes frações do alimento são fermentadas em tempos diferentes e a taxas diferenciadas.

2.5. Características do Silicato e do Calcário

Os materiais empregados como corretivos de acidez são basicamente os óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de cálcio e magnésio (MALAVOLTA, 1980). O calcário é o material mais usado, produto este obtido pela moagem da rocha calcária tendo como constituintes o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). O calcário é um corretivo de acidez e fornecedor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) segundo Alcarde (1992). Entretanto, para que haja a correção da acidez do solo, o mesmo necessita dissolver-se em água, conforme a reação abaixo (BOHNEN, 2000):



Vários produtos vêm sendo utilizados como fonte de Si para as plantas, materiais como escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de P elementar em fornos elétricos, termofosfato, cimento, silicato de cálcio e silicato de magnésio.

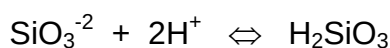
Korndörfer *et al.* (1999a) constataram que a aplicação de silicato de cálcio na forma de wollastonita nas doses de 0, 120, 240, 480 e 960 kg.ha⁻¹, promoveram incrementos nos teores de Si solúvel em quatro solos estudados, sendo o maior incremento observado num Latossolo Roxo (10,5 para 22,9 mg.dm⁻³) e o menor num Neossolo Quartzarênico (3,2 para 7,6 mg.dm⁻³). Barbosa *et al.* (2003) também verificaram incrementos nos teores de Si disponível no solo de 1,0 para 14,0 mg.dm⁻³ após a aplicação de 1000 kg.ha⁻¹ de silicato de Ca e Mg.

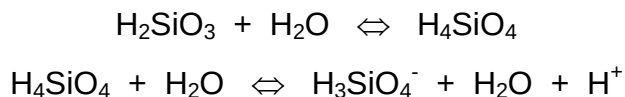
Além do silício, essas fontes contêm vários outros elementos úteis para as plantas, porém a wollastonita é um silicato de Ca bastante puro, isto é, com baixos teores de metais contaminantes. Entre essas fontes, a wollastonita, as escórias de siderurgia, o silicato de cálcio (subproduto da produção do fósforo elementar) e o cimento são as mais utilizadas (SNYDER; JONES; GASCHO, 1986).

As escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro formadas a partir da reação do calcário com a sílica (SiO₂), principal impureza presente no minério de ferro, como mostra a reação a seguir:



Da mesma forma que o calcário, essas escórias tem sido utilizadas como corretivos de acidez do solo e também como fonte de nutrientes. Seus constituintes principais são o silicato de cálcio (CaSiO₃) e o silicato de magnésio (MgSiO₃), podendo conter alguns macro e micronutrientes (essenciais) tais como P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Co, etc. O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação do ácido monossilícico (H₄SiO₄), que se dissocia menos que os H⁺ adsorvidos no complexo de troca, e por isso, sendo capazes de elevar o pH, conforme a equação descrita abaixo (ALCARDE, 1992), neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos, além de serem ricos em Ca e Mg e apresentarem, ainda, em sua composição alguns dos principais macros e micronutrientes requeridos em culturas florestais e na agricultura como o P, Fe, Mn (KLUGER, 1989).





As escórias utilizadas na agricultura liberam cálcio e/ou magnésio em solução, além de ânions (SiO_3^{-2}) que apresentam a mesma valência que o carbonato (CO_3^{-2}) proveniente do calcário. Desta forma apresentando o mesmo potencial corretivo de acidez do solo que o calcário. Além do mesmo poder corretivo, é importante observar que o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g.dm}^{-3}$ e $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g.dm}^{-3}$), deste modo à ação neutralizante do calcário é menor que dos silicatos porque a sua base (CO_3^{-2}) é mais fraca ($k_{b1} = 2,2 \times 10^{-4}$) que a base dos silicatos [SiO_3^{-2} ($k_{b1} = 1,6 \times 10^{-3}$)], ou seja, apresentando uma liberação mais lenta de OH^- no meio. No entanto, o silicato de cálcio apresenta uma capacidade de neutralização de acidez da ordem de 86% em relação ao carbonato de cálcio puro (ALCARDE, 1992).

Pereira (1978) analisando o poder corretivo de uma escória, comparado com sete calcários de distintas origens, concluiu não haver diferença estatística entre os corretivos, quanto à correção do pH de dois Latossolos.

De modo geral, a capacidade corretiva da acidez do solo das escórias é semelhante ao potencial do calcário. Entretanto, é importante observar que esses dois tipos de corretivos diferem quanto à superfície específica (área de contato) e quanto ao poder de neutralização (PN). O poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, que apresenta uma maior superfície específica, e teoricamente, maior reatividade. Porém, segundo Louzada (1987) quando se aplica calcário e escória com granulometrias semelhantes (mesma reatividade - Re), as escórias são um pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo essas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória.

Ramos (2003) estudando o efeito corretivo de silicatos e calcário em profundidade sob condições de casa-de-vegetação observou que as fontes Recmix e termofosfato foram mais eficientes no aumento de pH em Latossolo Vermelho-Amarelo que o calcário na camada de 0-25 e 0-30 cm, quando se aplicou 500 e

1000 kg ha⁻¹ de Ca, respectivamente. A Wollastonita, por sua vez, foi mais eficiente que o calcário na correção da acidez do solo na camada de 0-20 cm.

Korndörfer *et al.* (2001) verificaram um aumento significativo do Ca na primeira camada de 9,9 mmol_c.dm⁻³ para 23,2 mmol_c.dm⁻³, o que corresponde a um aumento de 134%; já na segunda camada de solo coletada observaram valores de 12,7 para 19,0 mmol_c.dm⁻³ perfazendo um acréscimo de 49% e na terceira camada um acréscimo de 68%, variando de 9,9 para 16,7 mmol_c.dm⁻³.

Prado; Fernandes e Natale (2001) encontraram respostas semelhantes também à aplicação de silicato de Ca em cana-de-açúcar, utilizando escórias de aciaria em Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico. Também Sanches (2003) conseguiu teores significativos para Ca na camada de 0-10 cm, variando entre 17,8 mmol_c.dm⁻³ (0 kg.ha⁻¹) e 25,4 mmol_c.dm⁻³ (6000 kg.ha⁻¹ de silicato de Ca), valores estes situados na faixa de teores elevados para Ca segundo Malavolta (1986).

Em seus estudos Barbosa *et al.* (2003) observaram um incremento de 68% nos teores de Ca fornecido pelo silicato até a profundidade de 40 cm. Faria (2000) também constatou um aumento progressivo no pH do solo, em função da aplicação de 600 kg ha⁻¹ de fontes de silicato, em Neossolo Quartzarênico Órtico e Latossolo Vermelho Distrófico. Este mesmo autor também observou que mesmo com poder de neutralização e granulometria similar entre os tratamentos empregados no experimento, constatou-se uma maior eficiência na correção de acidez do solo na subsuperfície pelos silicatos, em comparação ao calcário, fato este que ocorreu em função da maior reatividade dos silicatos.

Dalto (2003) estudou a correção da acidez do solo em profundidade pelo calcário e silicato de Ca e Mg, em condições de campo e observou que o calcário apresentou maior reatividade em relação ao silicato, para uma mesma dose aplicada. Provavelmente essa maior reatividade do calcário possa estar relacionada ao menor PRNT (89%) apresentado pelo silicato utilizado e ao tempo de contato entre a escória aplicada e o solo (NOVAIS *et al.*, 1993). Por outro lado, Fortes (1993) pesquisando duas escórias de siderurgia de alto-forno da fabricação do ferro gusa e o calcário, em dois Latossolos Vermelho-Amarelo de diferentes texturas, observou que apesar da escória ter corrigido a acidez do solo, a sua reação foi mais lenta que do calcário, indicando que a aplicação da escória baseado na determinação do PN

não foi eficaz. Esta reação mais lenta do silicato pode ser influenciada pela presença de impurezas como alumínio, que reduzem sua solubilidade (ANDO; MATUSHIMA; NAKAJINA, 1983). E também pela constituição química da escória, a qual apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligado a aluminossilicatos (CRANE, 1930) ou pela formação de uma película de óxi-hidróxido de Fe e Al em função, provavelmente, da alcalinidade gerada em torno desta partícula, no momento da hidrólise (GOMES *et al.*, 1996).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em pastagem de *Brachiaria decumbens* implantada a mais de 15 anos na área da Fazenda São José, localizada no km 189 da Rodovia MGT – 452, na região do Triângulo Mineiro (MG). A área foi dividida em parcelas, cada uma ocupando uma área de 42 m², possuindo 6 m de largura por 7 m de comprimento.

As características químicas do solo, antes da instalação do experimento, foram provenientes de uma amostra composta e representativa da área experimental, na profundidade de 0-20 cm (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análise química do solo da área total sob pastagem de *Brachiaria decumbens* na profundidade de 0-20 cm antes da instalação do experimento.

pH		P mg.dm ⁻³	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O. g.dm ⁻³
CaCl ₂	H ₂ O												
5,2	6,0	8,0	1,5	0,0	14	12	40	28	28	68	41	0,0	3,3

Tabela 2. Análise química de macronutrientes secundários e micronutrientes do solo antes da instalação do experimento.

B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO ₄
-----mg. dm ⁻³ -----					
0,26	8,7	90	19	0,2	10

O resultado da análise física do solo foi: Areia grossa: 560 g.kg⁻¹; Areia fina: 670 g.kg⁻¹; Silte: 413 g.kg⁻¹; Argila: 575 g.kg⁻¹. Com relação à quantidade de Si na amostra composta da área total coletada no início do experimento na profundidade de 0-10 cm, obteve-se o teor de 5,1 mg.dm⁻³ de Si, extraídos com Cloreto de cálcio (CaCl₂ 0,01 mol. L⁻¹).

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados foram cinco doses de silicato de Ca e Mg e uma dose de calcário: testemunha (T1) com zero de silicato ou calcário aplicado; tratamentos 2 a 5 (T2 a T5), respectivamente com 880 kg.ha⁻¹ (1/2 dose da recomendada para atingir a saturação por bases de 60%); 1320 kg.ha⁻¹ (3/4 dose); 1760 kg.ha⁻¹ (dose); 2640 kg.ha⁻¹ (1 ½ dose) de silicato de Ca e Mg e um tratamento (T6) com 1760 kg.ha⁻¹ de calcário. A fonte de silício utilizada foi o silicato de Ca e Mg (CaSiO₃ e MgSiO₃) com nome comercial Agrosilício (Tabela 3).

Tabela 3. Análise química do silicato de Ca e Mg utilizado no experimento.

SiO ₂	CaO	MgO	CaCO ₃	MgCO ₃	ER	VN	PRNT
----- % -----							
23	38	10	68	21	78	93	73

VN (Valor de Neutralização); ER (Eficiência Relativa); PRNT (Poder Relativo de Neutralização total).

Para comparar os efeitos do silicato de Ca e Mg sobre o pH e também sobre os teores de Ca no solo, foi aplicada uma dose equivalente de calcário dolomítico (Tabela 4).

Tabela 4. Análise química do calcário utilizado no experimento.

CaO	MgO	CaCO ₃	MgCO ₃	ER	VN	PRNT
----- % -----						
43	7,6	4,6	9,7	77,4	95	73

O delineamento experimental utilizado no ensaio foi de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e cinco repetições, perfazendo um total de 30 parcelas. As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade, com concomitantes ajustes matemáticos para efeitos de doses através de regressões polinomiais. As análises dos dados experimentais foram feitas com o auxílio do programa estatístico “SAS for Windows” (SAS, 1991).

O mesmo delineamento experimental foi utilizado para o material vegetal dos tratamentos proveniente do terceiro corte para análises bromatológicas e as metodologias de produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro*, nas duas

últimas o teste de Tukey foi também usado para as médias encontradas ao nível de probabilidade de 5%.

3.3. Implantação e condução

O período experimental estendeu-se entre novembro de 2002 a dezembro de 2003. O experimento foi instalado no dia 30 de novembro de 2002, sob pastagem de *Brachiaria decumbens* já estabelecida a mais de 15 anos, porém degradada. Inicialmente se demarcou a área com posterior divisão das parcelas. Procedeu-se a retirada das invasoras existentes bem como dos resíduos de origem tanto vegetal quanto animal, que poderiam interferir no experimento. Após estas ações, um corte de nivelamento da pastagem foi efetuado para uniformização do estande. A distribuição dos tratamentos silicato e calcário foi superficial e com leve incorporação; utilizando-se também 0,23 kg de sementes de *Brachiaria decumbens* por parcela distribuídas sobre o solo para aumentar a população de plantas, com posterior passagem de uma grade leve apenas para incorporação dos produtos distribuídos.

Para promover melhor desenvolvimento vegetativo das gramíneas em questão, aplicou-se também a lanço, quantidade equivalente a 500 kg.ha⁻¹ do formulado 10-10-10 (NPK) e 70 kg.ha⁻¹ de uma mistura de micronutrientes (FTE-BR12). Efetuou-se também uma adubação de cobertura após os cortes de nivelamento, nos dias 15 de fevereiro (2º corte) e 15 de março (3º corte), com 200 kg.ha⁻¹ da formulação 20-05-20 (NPK).

3.4. Análise do solo

Durante o experimento efetuaram-se duas amostragens de solo, sendo a primeira em 17/05/2003, e a segunda em 19/12/2003. As amostras coletadas nas parcelas foram constituídas por seis subamostras, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 cm. Estas foram secas em estufa à temperatura de 35 °C até atingirem peso constante com posterior análise de pH (CaCl₂ 0,01 mol. L⁻¹), Ca e Mg, conforme (EMBRAPA, 1997) e Si segundo descrição abaixo.

3.4.1. Análise de silício extraível no solo

A extração do Si foi realizada usando-se 100ml de Cloreto de Cálcio (CaCl_2 0,01 mol. L^{-1}) como solução extratora e 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA). Agitou-se durante 1 hora. A amostra (solo+extrator) foi filtrada e após um período de 12 horas de repouso, retirou-se uma alíquota de 10 ml do extrato na qual foi adicionado 1 ml de solução sulfo-molíbdica 7,5%, que desenvolve a cor amarela pela formação do complexo ácido sílico-molíbdico a qual é máxima entre pH 1,0 e 2,0. Após 10 minutos acrescentou-se 2 ml da solução de ácido tartárico (20%) para complexar o P e o Fe presentes na solução. Após mais 5 minutos adicionou-se 10 ml da solução de ácido ascórbico 0,3%. A redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul. A leitura do Si nos extratos foi feita em fotocolorímetro, no comprimento de onda de 660 nm, segundo a metodologia descrita por Korndörfer *et al.* (1999a).

3.5. Produção de matéria seca

A avaliação da biomassa foi realizada através dos cortes da parte aérea da forrageira, os quais foram realizados com o auxílio de uma roçadeira mecânica na altura de 15 cm do solo. A determinação da matéria seca baseou-se no crescimento vegetativo apresentado entre os cortes. O primeiro corte da parte aérea foi aos 45 dias após a instalação do experimento (15 de janeiro de 2003), o segundo realizou-se 30 dias depois do primeiro corte (15 de fevereiro de 2003), o terceiro 28 dias em seguida ao segundo (15 de março de 2003), o quarto aos 63 dias posteriores ao terceiro (17 de maio de 2003) e o quinto 216 dias após o quarto (19 de dezembro de 2003).

O material coletado foi pesado em uma balança eletrônica para obtenção do peso da matéria verde total da área útil, com posterior retirada de uma sub amostragem de aproximadamente 1 kg de material fresco, que foram pesadas novamente e preparadas para secagem em estufa com ventilação forçada à 55°C para o cálculo da matéria seca.

3.6. Análise do tecido vegetal

Parte deste material seco foi moído em moinho tipo Willey (peneira 2 mm) e acondicionado para posterior análise de Si foliar (ELLIOT, SNYDER, 1991); e para as análises bromatológicas: matéria seca (MS); proteína bruta (PB); matéria mineral (MM); fibra detergente ácido (FDA); N em FDA (NIDA), pelos procedimentos de Van Soest e Wine (1967) e AOAC (1984). Este material seco proveniente do terceiro corte também foi utilizado para as análises de produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro* segundo Mauricio *et al.* (1999).

3.6.1. Análise de silício na parte aérea

O método para análise foliar de Si, procedeu-se da seguinte forma: Para a digestão pesou-se 0,1000 g do material, que foi colocado em tubos de polipropileno de 80 ml. Adicionou-se 2 ml de H_2O_2 (30%), agitou-se por alguns segundos no vibrador para aumentar a eficiência de contato da substância com a solução. Posteriormente, colocou-se 3 ml de NaOH (1:1), e novamente agitou-se por alguns segundos, colocou-os em banho-maria por 1 hora a 100 °C, tampou-se a seguir os tubos e, imediatamente, levou-os à autoclave por 1 hora a 123 °C e pressão de 1,5 atm. Após a autoclavagem, acrescentou-se 45 ml de água destilada em cada tubo, completando assim o volume para 50 ml. O extrato foi, então, colocado em recipientes plásticos, os quais foram fechados e mantidos em repouso durante 12 horas. Após este período retirou-se uma alíquota de 1 ml de cada amostra juntando-se este volume a 19 ml de água destilada, juntamente com 2 ml de molibdato de amônio 1:5 $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}H_2O]$: água destilada] para a formação do complexo amarelo ácido sílico-molibdico $[H_4(SiMo_{12}O_{40})]$. O ácido oxálico [75 g de $(COOH)_2 \cdot H_2O$ em 200 ml de água destilada] foi utilizado para eliminar a interferência do P e Fe, na quantidade de 2 ml por amostra. Para fazer a curva padrão de Si foram utilizados os padrões (0, 2, 4, 6 e 8 mg. L^{-1}) do qual se extraiu uma alíquota de 20 ml de cada e posteriormente acondicionou-os em copos plásticos de 50 ml e adicionou-se a estes rapidamente os seguintes reagentes: 1 ml de HCl (1:1 ou 50%); 2 ml de molibdato de amônio, agitando-se levemente, a cor amarelo aparece. Depois de 5 a

10 minutos adicionou-se 2 ml de ácido oxálico e repetiu-se a agitação. A leitura do Si foi feita em fotolorímetro com comprimento de onda 410 nm, imediatamente após a adição dos reagentes, pois o complexo amarelo ácido sílico-molíbico é bastante instável (ELLIOT; SNYDER, 1991).

3.6.2. Extração de silício pela planta

A extração de Si pela parte aérea das plantas foi calculada multiplicando-se a concentração de Si (g.kg^{-1} MS) obtido a cada um dos cortes produzidos pela produção de MS.

3.6.3. Produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro*

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP (CENA) segundo a técnica de Maurício *et al.* (1999). As amostras de substrato, 1g da parte aérea seca moída a 1 mm proveniente do terceiro corte dos tratamentos testados, foram incubadas em solução nutritiva inoculada com microrganismos ruminais em garrafas de vidro resistente a altas pressões.

O inóculo para esta técnica foi obtido do líquido ruminal de cinco ovinos machos, castrados, dotados de cânula ruminal especialmente preparados para estudos de degradabilidade *in situ*, mantidos em baia coletiva e alimentados às 8:30 h e 16:30 h com uma dieta a base de forragem picada e ração comercial seguindo as exigências para um nível de manutenção (AFRC, 1994). O inóculo foi preparado usando porções iguais de fase sólida e líquida do conteúdo ruminal. Posteriormente as frações foram homogeneizadas em liquidificador por alguns segundos e filtradas em nylon com porosidade de 35 μm .

Os seguintes horários foram usados para medir o volume de gases produzidos, com o auxílio de um transducer: 0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 48, 60, 72 e 96 horas após a inoculação, sendo que a degradação *in vitro* dos alimentos foi determinada nos seguintes horários: 0, 3, 9, 16, 24, 48, 72 e 96 horas após a inoculação.

A degradação ruminal foi calculada como a diferença entre a quantidade total de amostra colocada para fermentar em cada frasco e a quantidade de resíduo recuperado por filtração em cadinho sinterizado (nº 1) após a incubação.

Os dados da produção de gases foram ajustados pelo modelo de France *et al.* (1993), através das Equações 5 e 6 e os de degradação ruminal pelo modelo de Ørskov e McDonald (1979), modificado por McDonald (1981) pelas Equações 1 a 4.

3.7. Dados climatológicos

Foram levantados os índices pluviométricos do local do experimento durante todo o período experimental, por um pluviômetro instalado próximo à área da implantação do experimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de matéria seca

Durante o período experimental não houve efeito da aplicação de Si sobre a produção de MS, em nenhum dos cortes, quando comparados entre si, e nem mesmo na soma dos cinco cortes (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Produção de matéria seca da parte aérea de braquiária, por ocasião dos cinco cortes realizados em função das diferentes doses de silicato.

Silicato	Produção de matéria seca				
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	5º corte
kg.ha ⁻¹	-----		kg.ha ⁻¹	-----	
0	1567	103	424	1532	1633
880	1476	127	444	1512	1775
1320	1260	130	447	1443	1654
1760	1580	102	435	1478	1536
2640	1198	141	448	1451	1739
C.V %	60,7	24,7	17,5	16,4	25,9
Valor F	0,34	2,27	0,18	0,32	0,01
Pr > F	0,57	0,15	0,68	0,58	0,93

Estes resultados se contrapõem aos obtidos por Korndörfer *et al.* (2001) que observaram uma elevação de 17% na produção de MS da *Brachiaria decumbens* após a aplicação superficial de 2000 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio, em Latossolo Vermelho-Amarelo na região do Triângulo Mineiro.

Sanches (2003) que estudou um Latossolo Vermelho Distrófico relatou também uma relação positiva entre a produção de MS e a aplicação de silicato. Entretanto, estes valores estão de acordo com as observações feitas por Melo *et al.* (2003) os quais não observaram efeitos significativos para o aumento da produção de MS em função da aplicação de silicato no solo.

Tabela 6. Somatório da produção de matéria seca e do silício extraído pela parte aérea de braquiária proveniente dos cinco cortes realizados em função das doses de silicato.

Silicato	Somatória dos cortes	
	Produção de matéria seca Acumulado $\sum$ 5 cortes	Silício extraído Acumulado $\sum$ 5 cortes
kg.ha ⁻¹	----- kg.ha ⁻¹ -----	-----
0	5259	49,5
880	5334	54,2
1320	4934	52,6
1760	5131	55,9
2640	4977	59,3
C.V %	24,9	21,6
Valor F	0,17	1,76
Pr > F	0,69	0,20

Melo *et al.* (2003) justificaram a falta de resposta ao Si sobre a produção de MS, ao fato do experimento ter sido conduzido em casa-de-vegetação onde o estresse biótico foi controlado, isto é, por não ter existido nenhum tipo de ataque de pragas ou doenças durante o período que pudesse afetar o desenvolvimento vegetativo das gramíneas. Afirmaram que dificilmente ocorreria em condições de campo, onde isto é mais comum. Todavia, o presente estudo conduzido a campo onde as condições bióticas e abióticas não foram controladas, o mesmo resultado se repetiu. No entanto, as plantas estudadas não foram submetidas a um elevado estresse, como por exemplo, o baixo estresse hídrico, conforme se observa a Tabela 7, uma vez que, em anos anteriores verificou-se períodos de déficits hídrico muito superiores aos aqui relatados, onde não se constatou também a infestação de pragas como a cigarrinha das pastagens ou alguma doença, que afetasse o crescimento das plantas.

É conhecido que os efeitos da aplicação do Si são mais comuns quando as plantas são submetidas a determinadas condições de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico, por outro lado como a braquiária é reconhecidamente uma espécie bastante tolerante a déficits hídrico prolongados é provável que os níveis de estresse aqui averiguados durante o período experimental, não foram suficientes para que o Si manifestasse o seu verdadeiro potencial sobre a produção de matéria seca.

Tabela 7. Dados pluviométricos durante o período experimental.

Ano	Meses	Volume em (mm)
2002	Outubro	60
	Novembro	202
	Dezembro	281
2003	Janeiro	794
	Fevereiro	241
	Março	460
	Abril	150
	Maio	0
	Junho	0
	Julho	0
	Agosto	20
	Setembro	60
	Outubro	106
	Novembro	230
	Dezembro	197

Uma outra possível razão para a ausência de resposta para Si na braquiária estaria relacionada aos valores do elemento Si presente no solo no início do experimento, isto é, com teores de $5,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ na camada de 0-10 cm, valores próximos do nível crítico de Si no solo citados como baixos por Korndörfer *et al.* (1999 c) de 6 a 8 mg.dm^{-3} extraídos com CaCl_2 $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ podendo configurar-se ou não como um fator estressante para que a planta pudesse demonstrar o seu melhor desempenho em relação à presença de Si no solo.

Atentando-se ainda para a existência da possibilidade de que a menor dose de silicato empregada de 880 kg.ha^{-1} , já ter sido suficiente para atender as necessidades de Si da forrageira, explicando-se assim a não correspondência das outras doses de silicato em incrementar significativamente as produções de matéria seca, lembrando-se ainda que não existem calibrações para valores de exigência nutricional em relação ao Si para outras culturas além do arroz.

4.2. Silício na parte aérea

O emprego das doses de silicato de Ca e Mg elevaram as concentrações de Si foliar, Figura 1. Esse resultado é semelhante aos obtidos por vários outros autores que observaram a absorção de Si pelas plantas quando o mesmo foi fornecido via solo (KORNDÖRFER *et al.*, 1999b; KORNDÖRFER *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2003).

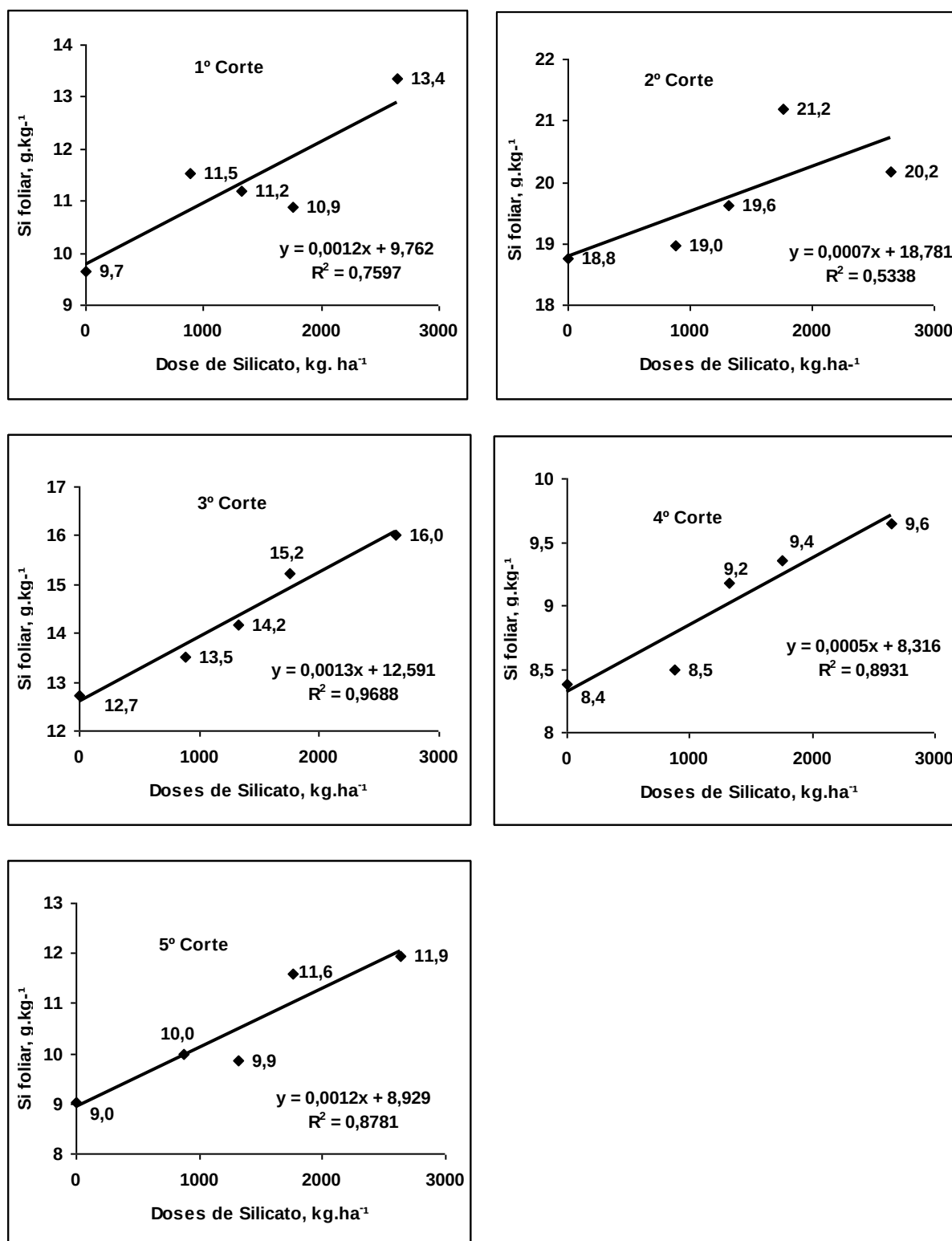


Figura 1. Concentrações de silício na parte aérea da braquiária nos cinco cortes, em função das doses de silicato aplicadas.

Do primeiro ao quinto corte os intervalos em dias entre a instalação do experimento e os referentes cortes foram de 45, 75, 103, 166 e 382 dias,

respectivamente. As concentrações médias de Si na parte aérea mantiveram um aumento linear com o incremento das doses de Si, doses estas que influenciaram significativamente as concentrações de Si na parte aérea em todos os cortes.

A maior concentração de Si foliar foi observada no segundo corte, onde o Si variou de 18,8 a 21,2 g.kg⁻¹, respectivamente na testemunha e na dose de 1760 kg.ha⁻¹, que representou um aumento de aproximadamente (13%), justamente o corte que produziu a menor quantidade de MS, o que pode ser justificado por várias razões. A primeira justificativa refere-se ao efeito da diluição, ou seja, onde a concentração dos nutrientes no interior da planta torna-se diluída com a maior produção de MS, a segunda seria que na primeira época de avaliação 1º corte o silicato ainda não teria se solubilizado de forma suficiente com o solo para que houvesse uma grande absorção (FORTES, 1993). No primeiro corte a concentração de Si aumentou de 9,7 para 13,4 g.kg⁻¹ com variação de (38%) e no terceiro, quarto e quinto cortes os teores variaram de 12,7 a 16,0 g.kg⁻¹ (25%), 8,4 a 9,6 g.kg⁻¹ (15%) e 9,0 a 11,9 g.kg⁻¹ (32%) respectivamente, entre a dose testemunha (0 kg.ha⁻¹) e a dose de (2460 kg.ha⁻¹).

Os resultados estão de acordo com os valores obtidos na literatura para *Brachiaria decumbens*. Korndörfer *et al.* (2001) obtiveram resultados de concentrações de Si na parte aérea da *Brachiaria decumbens* cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo, variando de 12,8 a 25,3 g.kg⁻¹ nas doses 0 e 6000 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio. Melo *et al.* (2003) comparam doses aplicadas de Si em duas espécies do gênero *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*), observaram resultados com concentrações de Si, na parte aérea da *Brachiaria decumbens*, entre 2,6 e 13,5 g.kg⁻¹ nas doses de 0 e 1452 kg.ha⁻¹ de Si cultivadas em casa de vegetação em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Nos três cortes que realizaram houve uma superioridade da *Brachiaria decumbens* (9,8 g.kg⁻¹) em relação a *Brachiaria brizantha* (9,2 g.kg⁻¹) quanto a concentração de Si na parte aérea. Essas diferenças nas concentrações de Si demonstram o comportamento diferenciado entre as espécies em relação absorção e acumulação do Si (MELO *et al.* 2003).

Algumas das concentrações de Si relacionadas neste experimento estão muito próximas das encontradas para cultura do arroz reconhecidamente uma

gramínea altamente acumuladora de Si. Faria (2000) obteve um aumento médio de 14,0 para 20,0 g.kg⁻¹, enquanto Carvalho (2000) encontrou concentrações variando de 24,4 a 31,0 g.kg⁻¹, ambos na parte aérea do arroz.

4.3. Silício extraído na parte aérea

O efeito da aplicação de Si no solo proporcionou aumentos significativos na acumulação de Si na parte aérea da braquiária no segundo, terceiro e quinto cortes, o que não foi constatado no primeiro e quarto cortes (Tabela 8). Analisando-se os cortes, observa-se que o quinto corte, dentre os significativos foi o que apresentou a maior extração de Si, residindo no outro extremo o segundo corte com menor extração, e intermediariamente o terceiro corte, o que pode ser explicado pelas maiores, menores e intermediárias produções de MS, respectivamente, entre os cortes (Tabela 5), concordando com os achados de Melo *et al.* (2003), que trabalharam com duas espécies do gênero *Brachiaria* e observaram que dentre os cortes realizados o que apresentou maior concentração de Si extraído foi justamente o de maior produção de MS, fato também descrito por Korndörfer *et al.* (2001) na dose de 2000 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio.

Tabela 8. Silício extraído pela parte aérea da planta ao longo dos vários cortes.

Silicato	Silício extraído pela parte aérea				
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	5º corte
kg.ha ⁻¹	g.kg ⁻¹				
0	14,6	1,9	5,4	12,9	14,8
880	15,9	2,4	5,9	12,7	17,3
1320	13,9	2,5	6,3	13,4	16,4
1760	16,3	2,1	6,6	13,7	17,2
2640	15,2	2,9	7,1	13,9	20,2
C.V %	51,1	21,9	16,6	19,6	20,7
Valor F	0,02	6,06	7,84	0,65	5,32
Pr > F	0,89	0,02	0,01	0,43	0,03

Com relação aos demais cortes a não significância dos mesmos podem ser explicados pelos seguintes motivos. Quando se analisam os cinco cortes individualmente, observa-se que à medida que se aumenta a disponibilidade hídrica (Tabela 7), nota-se uma elevação na extração de Si, o que corrobora com a hipótese

de Jones e Handreck (1967), de que o Si é absorvido de forma passiva via fluxo de massa acompanhando a água, e aos relatos feitos por Melo *et al.* (2003), que estudaram duas tensões de capacidade de campo, onde na tensão de 80% as braquiárias conseguiram acumular 1,4 vez mais Si do que na tensão de 60% considerando a soma de todos os cortes; o que pode explicar os valores não significativos apresentados no quarto corte com relação à extração de Si devido ao estresse hídrico ocorrido. Já os resultados obtidos no primeiro corte podem ser explicados pela possível reação mais lenta do silicato devido a sua reduzida solubilidade em função da constituição química da escória e da reação desta com o solo, segundo as teorias de Crane (1930); Ando; Matushima e Nakajima (1983) e Gomes *et al.* (1996).

Na soma dos 5 cortes, apesar de não significativos estatisticamente, houve uma tendência de aumento de aproximadamente 19,8% na quantidade de Si extraído na parte aérea, isto é, de 49,5 para 59,3 kg.ha⁻¹, respectivamente na dose de 0 e 2640 kg.ha⁻¹ (Tabela 6). Colaborando com a tese da capacidade da *Brachiaria decumbens* em acumular Si, assim como a maioria das gramíneas (KORNDÖRFER *et al.*, 1999b; KORNDÖRFER *et al.*, 2001; MELO *et al.*, 2003).

Korndörfer *et al.* (2001) observaram um aumento de 28% na quantidade de Si extraído de 86,7 para 111,1 kg.ha⁻¹ em relação ao tratamento testemunha e a dose de 2000 kg.ha⁻¹. Já Melo *et al.* (2003) no somatório dos três cortes obtiveram um aumento de aproximadamente 170% na quantidade de Si extraído, isto é, de 143 para 451 mg.vaso⁻¹, respectivamente nas doses de 0 e 1452 kg.ha⁻¹ de Si sendo que, nestes cortes, constatarem uma superioridade da *B. decumbens* de 8% em relação a *B. brizantha* em acumular Si na parte aérea. Constatação que demonstrou o comportamento diferenciado entre as espécies em absorver e acumular Si.

Ao analisar-se o somatório dos diversos cortes, constatou-se uma porcentagem de Si recuperada pela planta de 3,4% em relação à quantidade de Si aplicada neste experimento (Tabela 6). A recuperação do Si pela planta foi calculada baseando-se na concentração de Si extraído em relação ao aplicado. Esta recuperação está abaixo dos 21% encontrados por Melo *et al.* (2003) e aos 42% obtidos por Korndörfer *et al.* (1999b), com arroz, que variou de 12 a 58%, dependendo da dose aplicada e do tipo de solo. O que pode ser explicado neste

experimento pela baixa solubilidade do silicato com o solo, devido à aplicação superficial com leve incorporação do mesmo.

4.4. Silício no solo

Nas amostras de solo coletadas aos cinco e doze meses após a aplicação do silicato em diferentes profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, os teores de Si mostraram que as doses de silicato de Ca e Mg proporcionaram uma elevação significativa nos valores de Si disponíveis no solo (Tabela 9), variando entre 2,8 mg.dm⁻³ e 9,0 mg.dm⁻³, respectivamente nas doses de 0 kg.ha⁻¹ e 2640 kg.ha⁻¹, comprovando a reatividade do silicato, o que corrobora com os resultados obtidos por outros autores (KORNDÖRFER *et al.*, 1999a, b; FARIA 2000; MELO *et al.*, 2003). Entretanto, esta significância, não foi observada na segunda coleta realizada na profundidade de 20-40 cm, o que pode ser explicado pela capacidade de absorção do elemento pela parte aérea das plantas.

Tabela 9. Teores de silício no solo extraídos com CaCl₂ nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses após a aplicação das diferentes doses de silicato.

Silicato	Silício no solo (mg.dm ⁻³)					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
kg.ha ⁻¹	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	5,1	4,8	2,8	5,0	3,8	2,9
880	6,3	5,4	3,3	5,7	4,2	3,3
1320	6,7	5,5	4,0	5,2	5,8	3,5
1760	7,0	5,7	3,6	6,4	5,4	3,8
2640	9,0	6,0	3,8	6,4	5,8	3,3
C.V %	19,8	11,2	20,4	14,0	19,4	18,2
Valor F	20,84	11,06	4,97	9,95	13,62	2,00
Pr > F	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,17

Conforme Korndorfer *et al.* (1999 c), os teores de Si no solo extraídos com CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹ inferiores a 6 mg.dm⁻³ são considerados baixos. Desta forma os valores de Si encontrados no solo de 5,1 mg.dm⁻³ na extração com CaCl₂, no início da pesquisa nas profundidades de 0-10 cm, podem ser relacionados como baixos. Entretanto, os teores de Si obtidos neste experimento, mesmo que considerados

baixos ou na faixa limítrofe para o Si no solo, não se enquadram necessariamente como deficientes para a cultura. Todavia, atentando-se para o fato de que não existe ainda uma calibração para culturas como a braquiária, sendo possível que o nível crítico estimado para o arroz, esteja superestimado para o caso da braquiária.

Os valores encontrados também corroboram com o teor de 6 mg.dm^{-3} de Si, que Carvalho (2000) obteve num solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro da região de Botucatu, São Paulo e aos de Faria (2000) que trabalhou com dois solos da região do Triângulo Mineiro e encontrou os seguintes teores de Si: $5,7 \text{ mg.dm}^{-3}$ para Latossolo Vermelho-Amarelo e $3,3 \text{ mg.dm}^{-3}$ para Areia Quartzosa. Já os resultados de Korndörfer *et al.* (2001), obtiveram efeitos mais pronunciados na camada de 0-10 cm de profundidade, quando os teores de Si passaram de 6 mg.dm^{-3} para 108 mg.dm^{-3} , respectivamente nas doses de 0 kg.ha^{-1} e 6000 kg.ha^{-1} . No experimento conduzido em casa-de-vegetação, utilizando capins do gênero *Brachiaria*, Melo *et al.* (2003) observaram teores de Si disponíveis no solo variando de $5,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ a $27,9 \text{ mg.dm}^{-3}$, nas doses de 0 kg.ha^{-1} e 1452 kg.ha^{-1} de Si, respectivamente.

Outra constatação realizada foi que os teores médios de Si disponíveis no solo após a primeira amostragem aos 5 meses após a instalação, em todas as profundidades, foram em média 1,1 vez maiores que os obtidos na segunda amostragem após os 12 meses. Carvalho (1999), também detectou a redução do Si solúvel com o passar do tempo de 54 para 28 mg.dm^{-3} na dose de 340 mg.dm^{-3} , respectivamente aos 60 e 90 dias após aplicação da fonte de Si. Esta observação também é verificada por Melo (2005), chegando em seu caso, a quase duas vezes esta diferença. Este autor explica que essa diferença se deve a extração do elemento pela parte aérea das plantas.

4.5. Cálcio, magnésio e pH do solo

Durante o experimento, apesar de não significativo, observou-se um aumento nos valores de pH em decorrência do acaso e não dos tratamentos, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas duas amostragens realizadas aos 5 e 12 meses após a aplicação do silicato (Tabela 10). A elevação do pH, à medida que se

aumentam às doses de silicato no solo, é explicado pelo aumento nas concentrações de hidroxilas geradas pela reação do silicato no solo. Este efeito do Si sobre o pH também foi observado por Faria (2000) e Korndörfer *et al.* (2001).

Tabela 10. Valores de pH no solo nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses, em função das varias doses de silicato.

Silicato	pH (CaCl ₂)					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
kg.ha ⁻¹	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	5,4	5,0	5,3	5,3	5,4	5,1
880	5,4	5,0	5,3	5,1	5,5	5,1
1320	5,5	5,0	5,2	5,2	5,4	5,0
1760	5,5	5,1	5,3	5,3	5,6	5,2
2640	5,7	5,2	5,1	5,4	5,5	5,0
C.V %	6,5	4,6	5,2	7,1	4,4	4,6
Valor F	1,58	1,69	0,59	0,78	1,15	0,02
Pr > F	0,22	0,21	0,45	0,39	0,29	0,90

Os valores de pH aqui reportados concordam com os resultados obtidos por Melo *et al.* (2003) em casa-de-vegetação que analisaram Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média sob duas espécies do gênero *Brachiaria* aos 110 dias após a aplicação das doses de Si, com variações entre 4,9 e 4,8 respectivamente, nas doses de 0 a 1452 kg.ha⁻¹ de Si.

Ao avaliar o efeito do silicato de cálcio sob o pH em Latossolo Vermelho Distrófico sob *Brachiaria brizantha* nas doses de 0 a 6000 kg.ha⁻¹, Sanches (2003) obteve resultados de 4,8 a 5,1; 4,8 a 5,0 e 4,7 a 4,9 nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, aos 365 dias após a instalação do experimento.

Faria (2000) observou acréscimos lineares significativos de pH, em Latossolo Vermelho-Amarelo, quando o pH elevou-se de 4,6 para 5,1, enquanto em Areia Quartzosa o aumento foi de 4,2 para 4,8, em decorrência da aplicação de 0 e 600 kg.ha⁻¹ de silicato.

Já Korndörfer *et al.* (2001) obtiveram valores significativos de pH com variações de 5,4 para 6,8 e 5,3 para 6,0 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm respectivamente, com a aplicação de 0 e 6000 kg.ha⁻¹, demonstrando a capacidade do silicato de cálcio em aumentar o pH no perfil do solo até a profundidade de 10-20 cm.

Isto não foi observado neste experimento provavelmente devido ao reduzido contato do silicato de Ca e Mg com o solo, por causa da forma de aplicação utilizada, superficial com leve incorporação, além do baixo valor de PRNT (73%) apresentado pelo mesmo, que pode ter prejudicado a eficiência do corretivo em elevar o pH no solo, devido à diminuição da reatividade e solubilidade do silicato. É provável que se o silicato tivesse sido incorporado a uma profundidade maior as diferenças nos valores de pH teriam sido mais visíveis.

Comparando-se o silicato com o calcário na mesma dose de 1760 kg.ha⁻¹, não se observou variação significativa para o pH no solo (Tabela 11). Provavelmente devido aos mesmos fatos expostos no parágrafo anterior.

Tabela 11. Valores de pH no solo na dosagem de 1760 kg.ha⁻¹ nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses após a aplicação do silicato e do calcário.

Dose de 1760 kg.ha ⁻¹	pH CaCl ₂					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
Calcário	5,5	5,3	5,1	5,5	5,2	5,0
Silicato	5,5	5,1	5,3	5,3	5,6	5,2

Dalto (2003) estudando a correção da acidez do solo em profundidade pelo calcário e silicato de Ca e Mg, em condições de campo observou que o calcário apresentou uma maior reatividade em relação ao silicato para uma mesma dose aplicada, provavelmente por estar esta relacionada ao menor PRNT (89%) do silicato. Constatação esta não verificada durante este experimento, possivelmente devido à aplicação de doses equivalentes de silicato e de calcário com mesmos valores de PRNT de (73%).

Fortes (1993) e Novais *et al.* (1993) em seus estudos comentam sobre a reação mais lenta das escórias em relação ao calcário, apesar dos dois produtos terem corrigido a acidez do solo. O que pode ser notado de forma discreta ao se analisar a primeira amostragem em relação à segunda na Tabela 11, uma vez que, houve uma elevação discreta dos valores de pH na camada de 10-20 cm para o silicato.

As doses de silicato influenciaram apenas os teores de Ca no solo. Ao se considerar a Tabela 12, verificaram-se elevações significativas de 21,2 para 28,6

$\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ na camada de 0-10 cm e 18,5 para 23,2 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ na camada de 10-20 cm na primeira e segunda amostragem, respectivamente. Não sendo observadas diferenças significativas nas outras profundidades, devido aos teores bem próximos das necessidades de Ca da cultura (pastagem) que é de 25,0 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999).

Tabela 12. Teores de cálcio no solo nas duas amostragens realizadas nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses após a aplicação do silicato.

Silicato	Cálcio no solo (mmol _c .dm ⁻³)					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
kg.ha ⁻¹	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	21,2	9,1	11,2	17,6	18,5	9,7
880	24,4	9,3	14,1	17,9	21,5	9,7
1320	24,2	9,8	12,3	16,3	22,0	7,8
1760	24,8	11,1	12,5	19,3	23,2	10,4
2640	28,6	11,5	12,8	20,6	23,2	7,8
C.V %	16,0	25,3	26,2	19,0	16,4	35,5
Valor F	8,29	2,90	0,24	2,18	4,89	0,62
Pr > F	0,01	0,10	0,63	0,15	0,04	0,44

Faria (2000) obteve teores crescentes de Ca trocável no solo, sendo que os maiores valores foram observados na Areia Quartzosa, que se elevou de 52,0 para 78,0 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, já no Latossolo Vermelho-Amarelo houve um incremento de 43,0 para 61,0 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com as doses de silicato aplicadas.

A Tabela 13 apresenta os teores de Ca trocável no solo com a aplicação de 1760 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ de silicato e de calcário. Percebe-se que apesar de ter ocorrido incrementos nos teores de Ca devido à aplicação do silicato (Tabela 12), não existiram diferenças entre o corretivo calcário e silicato.

Tabela 13. Teores de cálcio no solo na dose de 1760 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ nas duas amostragens realizadas nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses após a aplicação do silicato e do calcário.

Dose de 1760 kg.ha ⁻¹	Ca no solo (mmol _c .dm ⁻³)					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
Calcário	22,0	17,7	9,3	19,1	11,9	7,0
Silicato	24,8	11,1	12,5	19,3	23,2	10,4

Os valores encontrados de Mg (Tabela 14), assim como nos trabalhos de Korndörfer *et al.* (2001); Melo *et al.* (2003) e Sanches (2003), também não se mostraram significativos, ou seja, não existiu incremento significativo nos teores de Mg no solo com a aplicação do silicato de Ca e Mg. Este fato pode ser explicado pelos teores de Mg encontrados no solo antes do início do experimento.

Em experimento em casa de vegetação Melo *et al.* (2003), obtiveram uma relação de Ca:Mg de aproximadamente 6:1 no solo e de 0,2 na parte aérea. Estes mesmos autores ainda citaram que a relação ideal no solo seria de 3:1. Marun (1990) trabalhou com quatro espécies forrageiras e cita que para se atingir a máxima produção de MS a melhor relação Ca:Mg foi de 1,4 no solo e de 0,5 na parte aérea, relação esta bem próxima da média de 1,4 encontrada no solo durante este experimento.

Tabela 14. Teores de magnésio no solo nas duas amostragens realizadas nas diferentes profundidades, aos 5 e 12 meses após a aplicação do silicato.

Silicato	Magnésio no solo (mmol _c .dm ⁻³)					
	1º Amostragem			2º Amostragem		
	Profundidade no solo (cm)					
kg.ha ⁻¹	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	14,9	7,3	9,5	14,1	14,3	8,4
880	15,8	6,4	11,4	13,5	14,6	7,5
1320	15,7	6,2	8,9	11,4	14,9	5,8
1760	15,5	7,1	10,4	13,0	16,0	8,4
2640	17,9	6,9	10,6	13,7	16,7	6,0
C.V %	23,6	31,6	31,6	31,9	19,4	38,6
Pr > F	1,32	0,03	0,14	0,04	2,18	1,30
Valor F	0,26	0,86	0,72	0,84	0,15	0,27

4.6. Caracterização Bromatológica

A caracterização bromatológica da parte aérea da braquiária foi avaliada a partir das amostras provenientes do terceiro corte, com o objetivo de verificar a influência do silicato no aumento ou redução do valor nutritivo da forrageira (Tabela 15).

Não houve diferenças significativas entre as frações de MS, PB, FDA e N-FDA. Já a fração MM foi significativamente diferente entre os tratamentos, assim como a concentração de Si contido na parte aérea da planta. Como o Si fica retido na fração MM na análise bromatológica este também foi estatisticamente diferente entre os tratamentos aplicados.

Tabela 15. Caracterização bromatológica, em g.kg⁻¹ MS, da braquiária ao terceiro corte em função das doses de silicato.

Silicato	Componentes					
	Si	MS	MM	PB	FDA	N-FDA
kg.ha ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹ MV	-----	g.kg ⁻¹ MS	-----	-----
0	12,7	248,5	71,9	86,8	346,6	4,8
880	13,5	247,7	73,5	82,8	343,9	4,7
1320	14,2	246,5	73,9	87,3	353,1	5,0
1760	15,2	253,2	76,1	84,8	339,9	5,0
2640	16,0	249,3	79,2	83,8	351,3	4,7
C.V %	8,4	0,5	3,6	8,5	3,2	9,7
Valor F	22,93	0,28	20,40	0,24	0,22	0,00
Pr > F	0,00	0,60	0,00	0,63	0,65	0,98

MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDA = Fibra detergente ácido; N- FDA = nitrogênio total, MV = Matéria verde.

As análises para concentração de Si foliar foram realizadas segundo a metodologia descrita por Elliot e Snyder (1991) que determina exclusivamente o elemento Si. Outros métodos podem levar a verificação das concentrações de Si na folha, como os de Van Soest e Wine (1967) e os de Goering e Van Soest (1970) os quais não foram usados, especificamente para Si, porque poderiam superestimar as concentrações deste elemento.

Os métodos de Van Soest e Wine (1967) e os de Goering e Van Soest (1970) determinam a presença da sílica, o mineral e não o elemento Si, originando resultados com concentrações que incluem além da sílica a presença de outros

minerais. Desta maneira seria necessário então, a realização de uma análise de varredura na amostra final, diferenciando o que realmente é sílica de outros minerais. Outro fator a ser considerado é que a determinação de Si por métodos que utilizam vidraria na extração, podem estar contaminando as amostras justamente devido à vidraria utilizada durante as análises, já que o Si é o componente principal do vidro. O método de Elliot e Snyder (1991) utiliza apenas utensílios de plástico na determinação, o que reduz o erro experimental devido à contaminação, resultando em concentrações de Si mais próximos dos valores reais encontrados nas amostras analisadas.

As concentrações de PB variaram de 82,8 a 87,3 g.kg⁻¹ MS, valores estes acima dos 61,0 e 29,0 g.kg⁻¹ MS reportados por Korndörfer (1999) e Bueno (2002) respectivamente, que trabalharam com fenos de braquiária, mas muito próximos ao valor de 93,9 g.kg⁻¹ MS relatados por Bueno (1998) em experimento usando *Brachiaria decumbens*. As doses de Si não influenciaram as concentrações de PB significativamente durante o experimento. A faixa de valores mais comumente encontrados na literatura situa-se entre 31,0 a 120,0 g.kg⁻¹ MS (ARFC, 1994; GOMIDE, QUEIROZ, 1994), faixa esta onde se encontram os dados obtidos no presente estudo.

Segundo Van Soest (1994), a concentração de PB na dieta de ruminantes para suprir o N para as atividades microbianas ruminais e não comprometer o consumo e a digestibilidade, deve ser de 60,0 a 80,0 g.kg⁻¹ MS. Desta forma as concentrações de PB dispostos neste experimento encontram-se acima destes limites e conseqüentemente adequados para o desenvolvimento microbiano.

Quanto aos valores de FDA, Korndörfer (1999) e Bueno (2002) reportaram concentrações bem próximas entre os seus trabalhos com 458,6 e 470,2 g.kg⁻¹ MS respectivamente, diferindo dos 390,5 g.kg⁻¹ MS encontrados por Bueno (1998) e aos 346,8 g.kg⁻¹ relatados neste experimento que estão dentro dos valores encontrados também por Gomide e Queiroz (1994).

A fração MM apresentou variações significativas em relação às doses de silicato, de 71,9 para 79,2 g.kg⁻¹ MS, corroborando com as observações feitas por Bueno (1998), que obteve concentrações de 75,0 e 89,0 g.kg⁻¹ MS para os tratamentos 0 e 4000 kg.ha⁻¹, respectivamente de silicato de cálcio.

4.7. Produção de gases *in vitro*

Os parâmetros relativos à cinética fermentativa da braquiária, segundo o modelo de France *et al.* (1993), podem ser examinados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Parâmetros do modelo de France *et al.* (1993) para a produção de gases *in vitro* da MS de braquiária provenientes do terceiro corte em função das doses de silicato.

Parâmetros *	Doses de Silicato kg.ha ⁻¹					C.V %	Valor F	Pr > F
	0	880	1320	1760	2640			
Vf	231,96	236,36	239,14	234,52	232,84	3,8	0,57	0,72
b	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	5,6	1,95	0,13
c	- 0,187	- 0,176	- 0,171	- 0,188	- 0,182	5,3	2,35	0,08
t ₀	5,51	5,47	5,79	5,74	5,49	5,1	1,19	0,35

* b e c: constantes do modelo (h⁻¹); Vf: volume final ou produção potencial de gases (ml.g⁻¹ MS); t₀: tempo de colonização (h).

Tabela 17. Parâmetros do modelo de France *et al.* (1993) para a produção de gases *in vitro* da MS de braquiária provenientes do terceiro corte na dose de 1760 kg.ha⁻¹ em função da aplicação de silicato e do calcário.

Parâmetros *	Testemunha	Doses em Kg.ha ⁻¹	
		Silicato	Calcário
	0	1760	1760
Vf	231,96	234,52	231,22
b	0,04	0,04	0,04
c	- 0,187	- 0,188	- 0,185
t ₀	5,51	5,74	5,52

* b e c: constantes do modelo (h⁻¹); Vf: volume final ou produção potencial de gases (ml.g⁻¹ MS); t₀: tempo de colonização (h).

Ao se analisar os parâmetros em função das distintas doses de silicato ao teste de F, este não detectou diferenças significativas, significância esta também não detectada pelo teste de Tukey.

Neste experimento obteve-se um tempo de colonização t₀ de (5,74 a 5,52 h) para as doses de silicato e de calcário, respectivamente. Valores estes bem inferiores aos (10,16 e 11,24 h) registrados por Bueno (1998) para braquiária na dosagem de 0 e 4000 kg.ha⁻¹ de silicato e aos tempos de colonização (6,40 e 7,50 h)

encontrados por Bueno (2002), e aos observados por Bueno *et al.* (1999; 2000) para feno de alfafa (de 6,1 e 7,1 h) e de braquiária (de 7,0 e 8,3 h), respectivamente.

Segundo Bueno (2002) a taxa de fermentação (μ) deste modelo, diferentemente da taxa de degradação (c) de Ørskov e McDonald (1979) varia de acordo com o transcorrer do tempo. A variação de μ é demonstrada na Figura 2 para a dose 1760 kg.ha^{-1} de silicato e de calcário. Enquanto a taxa de degradação de Ørskov e McDonald (1979) é constante, ou seja, do início ao final da degradação do alimento, a taxa ocorre de forma uniforme. Todavia durante este processo, diferentes frações do alimento estão sendo degradadas.

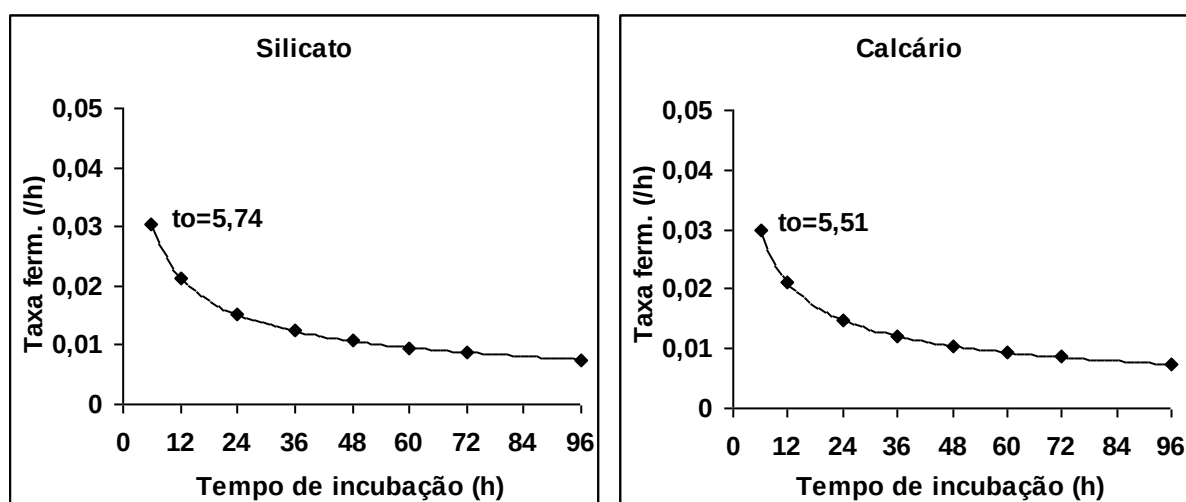


Figura 2. Taxa de fermentação (μ) do modelo de France *et al.* (1993), das amostras de braquiária do terceiro corte, na dose de 1760 kg.ha^{-1} , após aplicação do silicato e do calcário.

A técnica com monitoramento computadorizado de produção de gases para avaliação *in vitro* da digestão das forragens baseiam-se no fato dos produtos da fermentação resultarem da fermentação dos carboidratos solúveis e insolúveis, portanto as taxas de digestão, calculadas utilizando-se as medidas de produção de gases, refletem as taxas das frações solúveis e insolúveis. E sendo o Si considerado um fator antinutricional, este estaria acumulando-se na cutícula e nos tricomas para impedir a herbivoria e o acesso ao material que poderia ser usado pelos microrganismos nos processos de fermentação (SHEWMAKER *et al.*, 1989; BAE *et al.*, 1997).

A taxa de fermentação, por sua vez, depende do tempo segundo o modelo de France *et al.* (1993), que representa fidedignamente este processo (BUENO, 2002). Ainda segundo Bueno (2002) os alimentos com maior conteúdo celular possuem maiores valores de μ . Mas com o transcorrer do tempo, estes componentes se tornam escassos e as fontes de energia para as fermentações restantes são fermentescíveis em menor velocidade.

Bueno (2002) observou que o tempo de incubação do tratamento braquiária apresentou as menores taxas de fermentação, indicando assim baixas quantidades de compostos fermentescíveis. Os seus dados apontaram para μ após seis horas de 0,016 e 0,022 h⁻¹ e após 48 h, de 0,006 e 0,008 h⁻¹, respectivamente para braquiária e tifton. Neste experimento observou-se uma taxa de fermentação de 0,030 e 0,029 h⁻¹ após seis horas e 0,011 e 0,010 h⁻¹ após 48 horas para as doses de 1760 kg.ha⁻¹ para silicato e calcário, respectivamente. Nogueira Filho *et al.* (2000) encontraram μ para *Brachiaria humidicola* e *Cynodon dactylon* após seis horas de incubação de 0,016 e 0,022 h⁻¹ e após 48 h, de 0,020 e 0,028 h⁻¹, respectivamente. No caso de Bueno (2002) a rápida diminuição, comparado aos dados de Nogueira Filho *et al.* (2000), estão relacionados à baixa qualidade dos fenos de gramíneas testados, pois rapidamente foram exauridas as reservas de carboidratos facilmente fermentescíveis, fato este não detectado neste experimento com tanta intensidade demonstrado a melhor qualidade das amostras de braquiárias aqui testadas.

A Figura 3 representa os perfis da produção de gases dos substratos provenientes dos tratamentos com adubação silicatada (T2 a T5) e calcário (T6) aplicados, além do tratamento testemunha (T1). Verifica-se semelhante comportamento em todos tratamentos estudados quanto ao não efeito do Si, através das curvas semelhantes na verificação da cinética de produção de gases.

Os perfis de fermentação apresentados na Figura 3 também evidenciam um período inicial de baixa produção de gases. Este período é chamado de “lag phase” e é caracterizado pela fase de penetração dos microrganismos nas fibras antecedendo o início de degradação. Parâmetro este que pode ser aumentado devido aos depósitos de sílica existentes nos diferentes tecidos vegetais (BAAH *et al.*, 1999), o que não ocorreu com os dados aqui observados, uma vez que, apesar da elevação das concentrações de Si na parte aérea, os parâmetros do modelo de

France *et al.* (1993) não se mostraram significativos, o quais pode ser explicado pelos mesmos fatos expostos por Mcallister *et al.* (1994) e Bae *et al.* (1997).

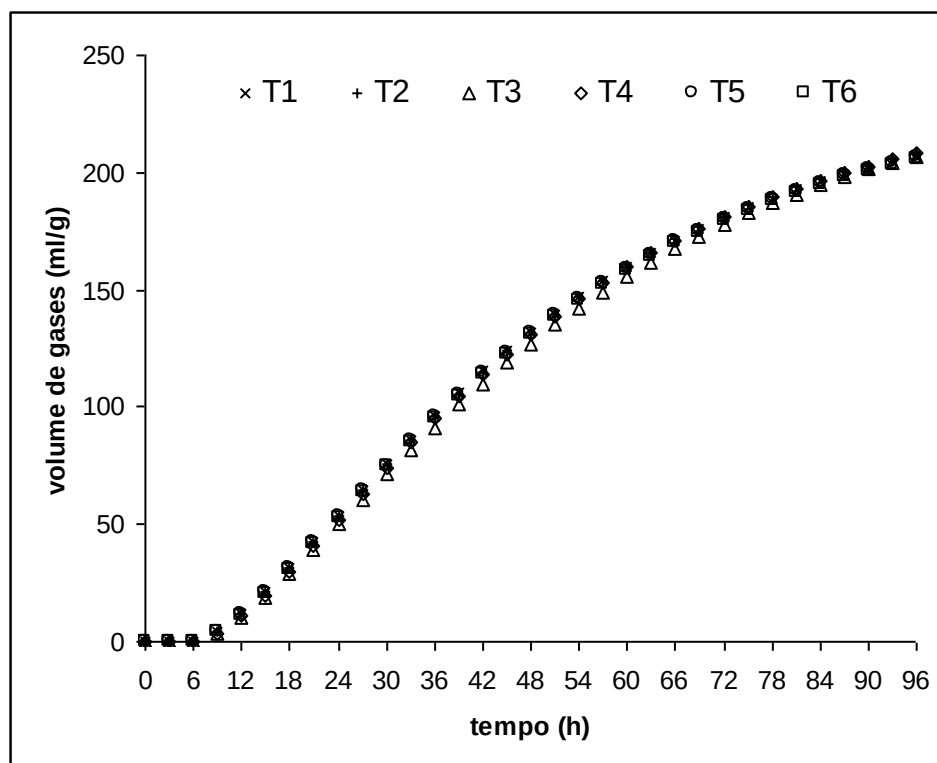


Figura 3. Perfis de fermentação *in vitro* da MS de braquiária proveniente do terceiro corte em função das doses de silicato (T1= 0; T2= 880 kg.ha⁻¹; T3= 1320 kg.ha⁻¹; T4= 1760 kg.ha⁻¹; T5= 2640 kg.ha⁻¹) e de calcário (T6= 1760 kg.ha⁻¹) aplicados.

4.8. Degradabilidade ruminal *in vitro*

Os perfis de degradação *in vitro* para esta técnica foram ajustados pelo modelo de Ørskov e McDonald (1979). Os parâmetros biológicos (*A*, *B*, *A+B*, *t₀*, *c* e *Deg%*) e matemáticos (constantes *a* e *b*) do modelo usado para o ajuste dos dados observados estão apresentados nas Tabelas 18 e 19.

Na análise geral dos dados, as constantes *a* e *b* e os parâmetros biológicos *A*, *B*, *A+B*, *t₀*, *Deg%* e *c* não sofreram influência significativa, quando comparado estatisticamente pelos testes de F e Tukey. Lembrando-se que durante o terceiro corte usado para esta análise, existiram diferenças entre as concentrações de Si

absorvidos e depositados pela planta na parte aérea em função das doses de silicato aplicadas ao solo.

Tabela 18. Parâmetros do modelo de Ørskov e McDonald (1979) para a degradabilidade *in vitro* da MS de braquiária provenientes do terceiro corte em função das doses de silicato aplicadas.

Parâmetros *	Doses de Silicato kg.ha ⁻¹						Valor F	Pr > F
	0	880	1320	1760	2640	C.V %		
matemáticos								
a	10,20	9,25	8,38	8,46	8,40	20,0	0,95	0,47
b	82,56	78,07	77,06	80,49	77,34	4,6	2,02	0,12
biológicos								
A	14,76	14,08	14,10	13,16	14,29	8,8	1,00	0,44
B	78,00	73,24	71,33	75,79	71,46	6,4	2,01	0,12
A + B	92,76	87,32	85,44	88,95	85,75	4,8	2,47	0,07
c	0,017	0,019	0,021	0,020	0,021	20,6	1,01	0,44
t ₀	3,30	3,29	3,59	3,01	3,69	30,7	0,51	0,77
Deg 2%	47,98	47,19	46,86	48,52	47,66	4,5	0,90	0,85

* a e b: constantes do modelo (%); A: fração prontamente solúvel (%); B: fração insolúvel potencialmente fermentecível (%); A+B: degradabilidade potencial (%); c: taxa de degradação da fração B (h⁻¹); t₀: tempo de colonização (h); Deg 2%: degradabilidade ruminal efetiva a taxa de 2%.h⁻¹ (%).

Tabela 19. Parâmetros do modelo de Ørskov e McDonald (1979) para a degradabilidade *in vitro* da MS de braquiária provenientes do terceiro corte em função da dose de 1760 kg.ha⁻¹ de silicato e de calcário aplicados.

Parâmetros *	Testemunha	Silicato	Calcário
	0	1760	1760
matemáticos			
a	10,20	8,46	9,82
b	82,56	80,49	81,61
biológicos			
A	14,76	13,16	13,61
B	78,00	75,79	77,82
A + B	92,76	88,95	91,43
c	0,017	0,020	0,017
t ₀	3,30	3,01	2,85
Deg 2%	47,98	48,52	47,33

* a e b: constantes do modelo (%); A: fração prontamente solúvel (%); B: fração insolúvel potencialmente fermentecível (%); A + B: degradabilidade potencial (%); c: taxa de degradação da fração B (h⁻¹); t₀: tempo de colonização (h); Deg 2%: degradabilidade ruminal efetiva a taxa de 2%.h⁻¹ (%).

Bueno (2002), trabalhou com fenos de alfafa, braquiária e tifton e testou com esta técnica a especificidade do inóculo ao substrato. Onde observou que os parâmetros matemáticos e biológicos foram influenciados significativamente pelos substratos. A técnica comprovou-se sensível para detectar diferenças de fermentação e produção de gases resultante do metabolismo dos microrganismos no substrato.

Segundo Bueno (2002), o modelo de Ørskov e McDonald (1979) é representado por uma equação exponencial de primeira ordem (Equação 2), onde o grau de curvatura dos perfis da cinética de degradação por ele gerado são fornecidos pela taxa de degradação (c). Desta forma, quando a taxa de degradação, c , tende a zero ou é muito pequena como é o caso da braquiária citada em seu experimento ($c = 0,001 \text{ h}^{-1}$), a equação se aproxima de uma reta, provocando uma super estimação do potencial de degradação ($A+B$), podendo produzir valores irreais com degradabilidades superiores a 100 %, devido ao ajuste insatisfatório dos dados causados pela baixa taxa de degradação da fração B (c). Fato este não constatado durante este experimento, onde os valores de (c) variaram de 0,017 a 0,021 nas doses de 0 e 2640 kg.ha⁻¹ de silicato, respectivamente.

A adubação com silicato nas doses testadas resultaram em material vegetal, na parte aérea, que possuía diferentes concentrações de Si acumulado, resultado em concentrações entre 12,7 a 16,0 g.kg⁻¹ de Si. Desta forma, era de se esperar que o Si, mencionado na literatura como um elemento antinutricional, que afeta negativamente a digestibilidade, estivesse afetando os microrganismos que fariam uso dos substratos oriundos da parte aérea de braquiária nesta técnica de produção de gases, o que não ocorreu.

Na literatura, as informações sobre o efeito do Si na nutrição de ruminantes têm sido geralmente negativos, principalmente se baseado nas informações da década de 70. Os autores geralmente concordavam que o Si diminuía a qualidade da forragem ao ruminante. Alguns estudos estão relacionados com Si total e outros considerando o que chamaram de “sílica solúvel”, aquela que faria parte integrante do vegetal.

Estudiosos importantes da área de nutrição de ruminantes como Van Soest e Jones (1968); Smith; Nelson e Boggino (1971) e Smith e Urquhart (1975) afirmavam

que o Si diminuía a digestibilidade *in vitro* das gramíneas. Além disso, citavam que a silificação de plantas forrageiras reduzia a digestibilidade da matéria seca, como também poderiam reduzir a preferência durante a ingestão. Há, geralmente, concordância destes autores ao justificar a incorporação do Si nos tecidos vegetais com os mecanismos de defesa (McNAUGHTON *et al.*, 1985), com sua função de proteção da planta ao ataque dos predadores, produzindo uma barreira que impedisse a penetração nas células. Estes autores relacionam o Si com a depressão da digestibilidade da MS, discordando assim dos parâmetros aqui dispostos.

Existem outras hipóteses, entretanto, para o efeito negativo do Si na digestibilidade. Shimojo e Goto (1985) e Mika (1986) verificaram que o Si inibia a atividade de celulasas e outras enzimas digestivas, mas nestes estudos o Si era colocado diretamente em culturas celulares mistas. Não se sabendo se a matriz cuticular embebida em solução contendo enzimas teria o mesmo efeito do que a ação de enzimas celulolíticas bacterianas.

Shewmaker *et al.* (1989) sugerem que o Si solúvel poderia complexar-se com outros elementos que seriam necessários aos microrganismos, indiretamente limitando o suprimento de nutrientes, e desta forma limitando o crescimento microbiano no rúmen, e conseqüentemente a produção de enzimas celulolíticas necessárias a digestibilidade do alimento ingerido pelo ruminante.

Algumas observações da literatura são plausíveis aos achados de não interferência do Si sobre a degradação do material.

A adesão de microrganismos é um pré-requisito para a digestão do alimento no rúmen (McALLISTER *et al.*, 1994). A produção de gases está relacionada com a proliferação das colônias destes microrganismos. Estas colônias, por sua vez, estão relacionadas metabolicamente com seus substratos preferidos, produzindo assim enzimas necessárias para digestão química e estrutural dos tecidos vegetais (McALLISTER *et al.*, 1994). A adesão dos microrganismos ocorre, provavelmente, no próprio substrato acessível à fermentação. Este substrato está localizado na superfície da planta ou em partes que foram expostas ao ataque microbiano por mastigação, ruminação ou processamento. Se o Si absorvido pela planta neste estudo tivesse formado uma barreira uniforme evitando o acesso dos

microrganismos ao substrato necessário para seu desenvolvimento, tal fato deveria estar, hipoteticamente, refletindo-se em diferentes tempos de colonização.

A braquiária é uma gramínea de origem africana, que como outras gramíneas africanas, é acumuladora de Si que pode tanto lhe servir como defesa contra a herbivoria como pode ser importante na promoção de seu desenvolvimento (McNAUGHTON *et al.*, 1985). A braquiária também está adaptada ao bioma Cerrado onde se desenvolveu este experimento e onde várias gramíneas nativas apresentaram altas concentrações de Si na parte aérea apesar da deficiência deste elemento no solo (KORNDÖRFER; ABDALLA; BUENO, 2001). Desta forma, mesmo no tratamento testemunha, sem adubação silicatada (Tabela 15), esta já possuía elevadas concentrações de Si quando comparada a outras plantas não acumuladoras de Si (KORNDÖRFER; ABDALLA; BUENO, 2001). Entretanto, houve diferença entre a testemunha e os outros tratamentos em relação à concentração de Si depositado na parte aérea da braquiária.

O mecanismo ou os mecanismos pelos quais o Si diminui a digestibilidade da MS ainda não foram bem esclarecidos (BAE *et al.*, 1997). As diferentes concentrações de Si não afetaram nem a digestibilidade nem a preferência ao pastejo quando testado em ovinos (SHEWMAKER *et al.*, 1989).

Os dados do presente experimento concordam com as observações de Hartley (1981) e Woodward; Akin e Hoveland (1989) que estudaram palhadas e subprodutos de cereais de clima temperado e entre duas cultivares de *Cynodon dactylon*, respectivamente, cujos resultados também não sofreram influência dos níveis de sílica encontrados nos tecidos das plantas. Também Van Soest (1994) não observou influência do Si em experimento usando Guineagrass.

Constatação esta que pode ser explicada pelas observações feitas por Bae *et al.* (1997), com relação à colonização da cutícula da palha de arroz. Os autores usaram microscopia eletrônica e realizaram microanálise com energia dispersiva de raio-X, obtendo interessantes imagens com detalhes das localizações e depósitos diferenciados do elemento Si nas diversas estruturas da planta.

Estas informações talvez possam ser esclarecedoras neste experimento se considerar que a braquiária, assim como o arroz é uma gramínea altamente acumuladora do elemento Si, que está em grande quantidade acumulado nos

tricomas. Estes tricomas, no caso do arroz, demonstraram ser particularmente susceptíveis a danos no rúmen e quando retirados da superfície deixavam um espaço que não continha Si e por onde os microrganismos penetravam e rapidamente digeriam os tecidos expostos na camada interna da folha. Bae *et al.* (1997) observaram que muitas vezes havia separação da cutícula do restante da folha devido à digestão que ocorrera. Semelhante situação poderia ter ocorrido com a braquiária, quando o acúmulo de Si poderia ter-se realizado na maior formação de tricomas .

Bae *et al.* (1997) verificaram que o Si estava presente em quantidades variáveis em toda a superfície da cutícula foliar, e acumulava-se, preferencialmente, em estruturas de duas dimensões (8 a 15 μm e de 2 a 4 μm), e também em áreas ao longo do maior eixo da folha. Entretanto, existiam regiões onde a ausência do Si era periódica, isto é, áreas que apresentavam faixas sem Si.

Através deste estudo, não se pode verificar a acessibilidade microbiana como fizeram Bae *et al.* (1997) com varredura eletrônica, mas sim afirmar que neste acaso o Si não limitou a digestibilidade do capim braquiária resultante de diferentes adubações silicatadas, por motivos ainda não muito bem esclarecidos.

Desta forma, apenas o incremento das concentrações de Si na gramínea, não significa que haja diminuição na digestibilidade pelo ruminante. Existem depósitos de Si na epiderme como uma segunda camada associada à celulose, também Si formando ligações entre lignina e carboidratos (INANAGA; OKASAKA, 1995) e ligado a outros compostos orgânicos (BAAH *et al.*, 1999) que podem não estar afetando a ação dos microrganismos ruminais. O Si pode ainda apresentar alguma interação química com outras células que não da epiderme, associado a proteínas (HARRISON; LU, 1994), pois o elemento Si pode ser encontrado em diferentes concentrações e em diferentes locais de uma mesma planta (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001), ou depositar-se de forma diferenciada na superfície de uma mesma folha, além de depósitos intra e extracelulares que já foram constatados na literatura (BAE *et al.*, 1997; SANGSTER; HODSON; TUBB, 2001) e que poderiam justificar os resultados deste experimento.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de silicato no solo não afetou a produção de matéria seca, porém aumentou as concentrações de Si na parte aérea da planta, comprovando ser a *Brachiaria decumbens* uma espécie acumuladora do elemento Si.

O silicato também elevou os teores de Si e Ca no solo, entretanto o mesmo não influenciou os valores de pH e Mg no solo.

Com relação à comparação entre o silicato e o calcário, esta não apresentou diferenças entre as médias estudadas, tanto na análise das variáveis relacionadas ao solo, quanto à parte aérea da braquiária.

Durante as análises não houve efeito das concentrações de Si na folha da braquiária sobre a composição bromatológica, a não ser na fração matéria mineral que foi estudada.

A presença de Si na folha também não afetou a cinética de fermentação durante as técnicas de produção de gases e degradabilidade ruminal *in vitro*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARIE, S.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P.B. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. **Japan Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 61, p. 200-206, 1992.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1994. 159 p.

ALCÂNTARA, P.B.; ALCÂNTARA, G.B. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1980. 150 p.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992. 62 p. (Boletim técnico, 6).

ALMEIDA, M.S. **Cinética ruminal e consumo voluntário de pasto por bovinos mantidos em pastagem natural na zona da mata**. 1998. 97 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1998.

ANDO, J.; MATUSHIMA, F.; NAKAJIMA, J. The chemical composition on solubility of various amorphous silos. **Japan Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 54, p. 417- 423, 1983.

ARANTES, V.A de. **Aplicação de silício para arroz de sequeiro cultivado em material de solos fase Cerrado**. 1997. 42p. Graduação (Monografia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 4 ed. Washington, 1984. 1141 p.

BAAH, J.; TAIT, R.M.; TUAH, T.A.; McALLISTER, T.A.; BAE, H.D.; CHENG, K.J. Examination of microbial degradation of *Ficus exasperata* and cassava peels by in situ incubation and scanning electron microscopy. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 77, p. 213-228, 1999.

BAE, H.D.; McALLISTER, T.A.; KOKKO, E.G.; LEGGETT, F.L.; YANKE, L.J.; JAKOPER, K.D.; HA, J.K.; SHIN, H.T.; GHENG, K.J. Effect of silica on the colonization of rice straw by ruminal bacteria. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 65, p.165-181, 1997.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. da. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001.

BARBOSA, D.S.; CAMARGO, M.S. de; RAMOS, L.A.; RESENDE, R.H.; ARRUDA, D.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A.. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionado pela aplicação de silicato e calcário em lisímetros. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. **Resumos...** Lavras: UFLA, 2003. 1 CD-ROM.

BEAUVINK, J.M.W.; SPOELTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology**, Washington, v. 37, p.505-509, 1992.

BENKE, G.M.; OSBORN, T.W. Urinary silicon excretion by rats following oral administration of silicon compounds. **Food Cosmetics Toxicology**, Oxford: Pergamon Press, v. 56, p.123-127, 1979.

BLÜMMEL, M; ØRSKOV, E.R. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 40, p. 109-119, 1993.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origens e correção. In: KAMINSKI, J.(Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p. 9-19. (Boletim técnico).

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil**. 10. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. p. 179-200.

BUENO, I.C.S. **Comparação entre técnicas “in vitro” e “in situ” de avaliação de braquiária para ruminantes**. 1998. 133 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

BUENO, I.C.S.; ABDALLA, A.L.; CABRAL FILHO, S.L.S.; VITTI, D.M.S.S.; OWEN, E.; MAURICIO, R.M.; GIVENS, I.; SUTTON, J.D.; MOULD, F.L. Comparison of inocula from sheep and cattle for the *in vitro* gas production technique under tropical conditions. In: ANNUAL MEETING OF THE BRITISH SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 1999, Scarborough. **Proceedings...** Penicuik: BSAS, 1999. p. 151.

BUENO, I.C.S.; GOBBO, S.P.; ABDALLA, A.L.; CABRAL FILHO, S.L.S. Effect of solid phase of rumen liquor on the inoculum used for *in vitro* gas production technique. (Compact disc). In: SYMPOSIUM OF GAS PRODUCTION: FERMENTATIVE KINETICS FOR FEED EVALUATION AND ASSESS MICROBIAL ACTIVITY, 2000, Wageningen. **Proceedings...** Penicuik: BSAS-EAAP, 2000.

BUENO, I.C.S. **Cinética digestiva e síntese microbiana ruminal em ovinos alimentados com fenos de três qualidades distintas**. 2002. 97 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARLISLE, E.M. Silicon. In: FRIEDMAN, E. **Biochemistry of the essential ultratrace elements**. [S.l.]: Plenum Press, 1974. p. 257-291.

CARPITA, N.C. Structure and biogenesis of the cell walls of grasses. **Annual review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**, Palo Alto: Annual Review Inc., v. 47, p. 445-476, 1996.

CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e cambissolo cultivados com mudas de eucalipto**. 1999. 89p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

CARVALHO, J.G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. 2000. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2000.

CARVER, T.L. W.; ZEYEN, R.J.; AHLSTRAND, G.G. The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germlings on barley. **Physiology Molecular Plant Pathology**, [S.l.], v. 31, p. 133-148, 1987.

CHLERIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BLELANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, [S.l.], v. 41, p. 411-425. 1992.

CHEEKE, P.R. **Toxicants of plant origin**. Alkaloids. Boca Raton: CRC Press, 1989. v. 1.

CHESSON, A.; ØRSKOV, E.R. Microbial degradation in the digestive tract. In: SUNDSTØL, F.; OWEN, E. **Straw and other fibrous by-product feed**. Amsterdam: Elsevier, 1984. v. 14, p. 305-339. (Developments in Animal and Veterinary Sciences).

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 1999. p. 335-341.

CRANE, F.H.A. Comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on acid. **Soil Journal of the America Society**, Madison, v. 22, p. 968-973, 1930.

DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Núcleo de Solos, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

DEREN, C. Plant genotype, silicon concentration, and silicon related responses. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE**, 1999, Forth Lauderdale. **Proceedings...** Fort Lauderdale: [s.n.], 1999. p. 6.

ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington: American Chemical Society, v. 39, p. 1118-1119, 1991.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**. n.50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H., KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p. 1-15.

FARIA, R.J. **Influência o silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 p. Graduação (Monografia) – Programa de

Graduação em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Núcleo de solos, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, St. Paul: American Phytopathological Society, v. 88, p. 396-401, 1998.

FORTES, J.L.O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. 1993. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles with in vitro degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, London: London Academic Press, v. 163, p. 99-111, 1993.

GALLO, J.R.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R. Teores de Si em gramíneas cultivadas e forrageiras. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 26, n. 3, 1974. p. 286-292.

GOERING. H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: ARS-USDA, 1970. (Agricultural handbook nº 379).

GOMES, M.F.A.; et al. Influência do ferro e alumínio em amostras do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. **Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 248, p. 444-453, 1996.

GOMIDE, J.A.; QUEIROZ, D.S. Valor alimentício das *Brachiaria spp.* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 223-248.

HARRISON, C.C.; LU, Y. In vivo and in vitro studies of polymer controlled silification. **Bulletin Institute Oceanographic**, [S.l.], v. 14, p. 151-158, 1994.

HARTLEY, R.D. Chemical constituents and processing of ligninocellulosic wastes in relation to nutritional quality for animals. **Agricultural Environment**, [S.l.], v. 6, p. 91-113, 1981.

HO, D.Y.; ZANG, H.L.; ZHANG, X.P. On the silicon supplying ability of some important paddy soils in South China. In: SYMPOSIUM ON PADDY SOLIS, 1980, Nanjing. **Proceedings...** Nanjing: [s.n.], 1980. p. 95.

HORIGUSHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 34, p. 65-73, 1988.

INANAGA, S.; OKASAKA, A. Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.41, p. 103-110, 1995.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plants? **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 11, p. 111-117, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa pecuária municipal**. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA 97. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 11 dez. 2005.

JONES, L.H.P., HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, n. 19, p. 107-149, 1967.

JUGDAOHSINGH, R.; ANDERSON, S.H.C.; TUCKER, K.L.; ELLIOT, H.; KIEL, D.P.; THOMPSON, R.P.H.; POWELL, J.J. Dietary silicon intake and absorption. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda: American Society of Chemical Nutrition, v. 75, n.5, p. 887-893, 2002.

KHAZAAL, K.; DENTINHO, M.; RIBEIRO, J.; ØRSKOV, E.R. A comparison of gas production during incubation with rumen contents in vitro and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility in vivo and the voluntary intake of hays. **Animal Production**, Scotland: British Society of American Production, v. 57, p. 105-112, 1993.

KLUGER, P. Utilização de escórias de aciaria LD para a agricultura – uma visão geral. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE DESCARTES DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA, 1., 1989, Salvador. **Resumos...** Salvador: [s.n.], 1989.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 623-629, jul./set. 1999a.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999b.

KORNDÖRFER, C.M. **Eficiência de utilização do feno de *Brachiaria decumbens* na alimentação de ovinos Santa Inês**. 1999. 111p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; ULLOA, M.; PERDOMO, R.; POWELL, J.; DEREN, C.; DATNOFF, M.L. Soil and plant silicon calibration for rice production. In: Rice Council Meeting, 1999, Belle Glade. **Proceedings...** Belle Glade: [s.n.], 1999c. p. 14-15.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCHI, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p. 133-147.

KORNDÖRFER, C.M.; ABDALLA, A.L.; BUENO, I.C.S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 153-163, 2001.

KORNDÖRFER, C.M.; KORNDÖRFER, G.H.; PEÇANHA, M.R.; CORREA, G.F.; JUNQUEIRA NETO, A.A. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 144.

LASCANO, C.E.; EUCLIDES, V.P. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria* pastures. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Cali: CIAT, 1996. cap. 7, p. 106-123.

LEITE, G.G.; EUCLIDES, V.P. Utilização de pastagens de *Brachiaria* spp. In: MANEJO DA PASTAGEM, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.267-298.

LIAN, S. Sílica fertilization of rice. Ins: **The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice**. Taiwan: Food Fert. Tech. Center. Taipei, 1976. p. 197-220.

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. 1987. 52 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

MA, J.F. **Study on physiological role of silicon in rice plants**. 1988. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Kyoto, Kyoto, 1988.

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**. Studies in Plant Science. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p. 17-39.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. The effect of silicic acid on rice in a P-deficient soil. **Plant Soil**, [S.l.], n. 126, p. 121-125, 1990.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. et al. **Exigências nutricionais das plantas forrageiras: calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 1986.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARUN, F. **Produção de matéria seca e nutrição mineral de gramíneas forrageiras em função da relação Ca/Mg do corretivo**. 1990. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1990.

MAURICIO, R.M.; MOUD, F.L.; DHANOA, M.S.; OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. Semi automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 79, p. 321-330, 1999.

McALLISTER, T.A.; BAE, H.D.; JONES, G.A.; CHENG, K.J. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 11, p. 3004-3018, 1994.

McDONALD, I. A revised model for estimation of protein degradability in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, [S.l.], v. 96, p. 251-252, 1981.

McNAUGHTON, S.T.; TARRANTS, J.L. Grass leaf silicification: natural selection for an inducible defense against herbivores, *Eustachys paspaloides*, *Andropogon greenwayi*, *Panicum coloratum*. **National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 80, n. 3, p. 790-791, 1983.

McNAUGHTON, S.J.; TARRANTS, J. L.; McNAUGHTON, M.M; DAVIS, R.H. Silica as a defense against herbivore and growth promoter in African grasses. **Ecology**, Durham, v. 66, p. 528-535, 1985.

MELO, S.P.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA de, D.G. Acúmulo de silício e tolerância ao déficit hídrico em capins do gênero *Brachiaria*. **Science Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.

MELO, S.P. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; SAMUELS, A.L. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fulginea* and *Cucumis sativus*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, London, v. 39, p. 403-414, 1991.

MERCHEN, N.R. Digestion, absorption and excretion in ruminants. In: CHURCH, D. C. **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988. p. 172-201.

MERCHEN, N.R.; BOURQUIN, L.D. Process of digestion and factors influencing digestion of forage-based diets by ruminants. Section IV. Role of digestion and metabolism in determining forage quality. In: FAHEY JUNIOR, G.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA, CSA, SSSA, 1994. cap. 14, p. 564-612.

MIKA, V. The effect of the water-soluble form of silicon in fodder crops on digestibility. **Science Agriculturae Bohemoslovaca**, [S.l.], v. 18, p. 85-190, 1986.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, p. 71-83, 1983.

NAGADI, S.; HERRERO, M.; JESSOP, N.S. A comparison of the gas production profiles of fresh and dry forages. In: ANNUAL MEETING OF THE BRITISH SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 1998, Scarborough. **Proceedings...** Penicuik: BSAS, 1998. p. 62.

NOGUEIRA FILHO, J.C.M.; FONDEVILA, M.; URDANETA, A.B.; RONQUILLO, M.G.. In vitro microbial fermentation of tropical grasses at an advanced maturity stage. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 83, p. 145-157, 2000.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. Viçosa: UFV, 1993.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of American Science**, New Haven, v. 92, p. 449-453, 1979.

PEREIRA, J.E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. 1978. 84 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Uberlândia, 1978.

PINHEIRO FILHO, D. **Estudo do silício e do alumínio no sistema solo-planta em espécies lenhosas do Cerrado, no município de Araguari, MG.** 1999. 53 p. Graduação (Monografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

PIZARRO, E.A.; VALLE, C.B.; KELLER-GREIN, G. et al. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America-Savannas. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. ***Brachiaria*: biology, agronomy, and improvement.** Cali: CIAT, 1996. cap. 15, p. 225-246.

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.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

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.

RYMER, C.; GIVENS, D.I. Relationship between the gas production profiles of mixtures of hay and maize and the patterns of rumen fermentation observed in sheep by those mixtures. In: ANNUAL MEETING OF THE BRITISH SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 1998, Scarborough. **Proceedings...** Scarborough: British Society of Animal Science, 1998. p. 63.

SANCHES, A.B. **Efeito do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-Braquiaraõ [*Brachiaria brizanta* (Hoechst ex A. Rich.) Stapf. cv. Marandu] sob intensidades de pastejo.** 2003.

122 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

SANGSTER, A.G.; HODSON, M.J.; TUBB, H.J. Silicon Deposition in Higher Plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture. Studies in plant science**. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p. 85-113.

SCHOFIELD, P. Gas production methods. In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) **Farm animal metabolism and nutrition**. Wzllingford: CAB Publishing, 2000. cap. 10, p. 209-232.

STATISTICAL ANALYSUS SYSTEM INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistical edition. Cary: SAS Institute, 1991. 754p.

SHEWMAKER, G.E.; MAYLAND, H.F.; ROSENAU, R.C.; ASAY, K.H. Silicon in C-3 grasses: effects on forage and sheep preference. **Journal of Range Management**, [S.I.], v. 42, n. 2, p. 122-127, 1989.

SHIMOJO, M.; GOTO, I. Effect of soluble silica on digestion of forage with rumen fluid of goat and cellulose. **Japanese Journal of Zootechnical Science**, [S.I.], v. 56, p. 20-24, 1985.

SHIMOJO, M.; GOTO, I. Effect of sodium silicate on forage digestion with rumen fluid of goats or cellulase using culture solutions adjusted for pH. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 24, p. 173-177, 1989.

SILESHI, Z.; OWEN, E.; DANHOA, M.S.; THEODOROU, M. K. Prediction of in situ rumen dry matter disappearance of Ethiopian forages from an in vitro gas production technique using a pressure transducer, chemical analyses or in vitro digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 61, p. 73-87, 1996.

SMITH, G.S.; NELSON, A.B.; BOGGINO, E.J.A. Digestibility of forages in vitro as affected by content of silica. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 33, p. 466-471, 1971.

SMITH, G.S.; URQUHART, N.S. Effect of sodium silicate added to rumen culture son digestion of siliceous forages. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 41, p. 882-890. 1975.

SNYDER, G.H.; JONES, D.B.; GASCHO, G.J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Journal Science of the American Society**, Madison, v. 50, p. 1259-1263, 1986.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: MANEJO DA PASTAGEM, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 25-48.

STEWART, S.R.; EMERICK, R.J.; PRITCHARD, R.H. High dietary calcium to phosphorus ratio and alkali-forming potential as factors promoting silica urolithiasis in sheep. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 2, p. 498-503, 1990.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TANGENDJAJA, B.; LOWRY, J.B., WILLS, R.B. Degradation of mimosine and hydroxy-4 (TH)-pyridone (DHP) by Indonesian goats. **Tropical Animal Production**, [S.l.], v. 10, p.39, 1985.

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; MCALLAN, A.B.; FRANCE, J.A. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam: Elsevier, v. 48, p. 185-197, 1994.

UDÉN, P. Laboratory methods for evaluating the nutritive value of untreated and treated fibrous by-products. In: SUNDSTØL, F.; OWEN, E. (Ed.) **Straw and other fibrous by-products feed**. Developments in animal and veterinary sciences. Amsterdam: Elsevier, 1984. v. 14, cap. 17, p. 533-557.

UNDERWOOD, E.J. **Trace elements in human and animal nutrition**. New York: Academic Press, 1977.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476 p.

VAN SOEST, P.J.; JONES, L.H.P. Effect of silica in forages upon digestibility. **Journal of Dairy Science**, v. 51, p. 1644-1648, 1968.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Use of detergent in the analysis of farmers feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of Association of Analytical Chemistry**, [S.I.], v. 50, p. 50-55, 1967.

WOODWARD, J.H.; AKIN, D.E.; HOVELAND, C.S. Ultrastructural techniques to investigate cell wall degradation and antiquality factors in two Bermuda grass cultivars. **Crop Science**, v. 29, n. 2, p. 440-447, 1989.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S.A.; RAMIRES, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some characters of the rice plant. **Plant Soil**, v. 31, p. 48-56, 1969.

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop Science**. Los Bãnos: International Rice Research Institute, 1981.

ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; BARCELLOS, A.O.; KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de Brachiaria. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 153-208.