

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO
SOBRE O CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICO-
BROMATOLÓGICA DA *Brachiaria brizantha* CV. MG5

Autora: Maria Isabel Leite da Silva
Orientador: Prof. Dr. Willian Gonçalves do Nascimento

GARANHUNS
Estado de Pernambuco
Novembro – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO
SOBRE O CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICO-
BROMATOLÓGICA DA *Brachiaria brizantha* CV. MG5

Autora: Maria Isabel Leite da Silva
Orientador: Prof. Dr. Willian Gonçalves do Nascimento

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS, no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Área de Concentração: Produção de Animal.

GARANHUNS
Estado de Pernambuco
Novembro – 2015

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

S586s Silva, Maria Isabel Leite da
Silício como atenuante do estresse salino sobre o
crescimento e composição químico-bromatológica da
Brachiaria Brizantha cv. mg5 / Maria Isabel Leite da
Silva. - Garanhuns, 2015.

69f.

Orientador: Willian Gonçalves do Nascimento
Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2015.

Inclui anexo e bibliografias

CDD: 631.81

1. Salinidade
 2. Silício
 3. Pastagens - Adubos e fertilizantes
- I. Nascimento, Willian Gonçalves do
 - II. Título

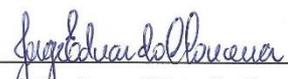
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

SILÍCIO COMO ATENUANTE DO ESTRESSE SALINO
SOBRE O CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICO-
BROMATOLÓGICA DA *Brachiaria brizantha* CV. MG5

Autora: Maria Isabel Leite da Silva
Orientador: Prof. Dr. Willian Gonçalves do Nascimento

TITULAÇÃO: Mestre em Ciência Animal e Pastagem
Área de Concentração: Produção Animal

APROVADA em 23 de novembro de 2015.



Prof. Dr. Jorge Eduardo Cavalcante
Lucena – PPGCAP/UFRPE



Prof. Dr. Glesser Porto Barreto
– UAG/UFRPE



Prof. Dr. Willian Gonçalves do
Nascimento – PPGCAP/UFRPE
(Orientador)

“Crê em ti mesmo, age e verás os resultados.
Quando te esforças, a vida também se esforça para te ajudar.”

Chico Xavier

Dedico esta dissertação aos meus pais, Carlos Alberto e Maria Ilma, por me apoiarem incondicionalmente em todas minhas decisões, por todos os conselhos e por muitas vezes ter se sacrificado para me dar tudo o que precisei.

Amo muito vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde, força, perseverança e pelo eterno aprendizado.

A minha família, em especial aos meus pais Carlos Alberto e Maria Ilma e meu irmão Robson, pelo incansável apoio e por terem acreditado em meu ideal e, acima de tudo, por sempre valorizarem o meu estudo.

À UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO/UAG, por ter-me possibilitado aprimorar meus conhecimentos e desenvolver este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Willian Gonçalves do Nascimento, pela confiança, ensinamentos, apoio e orientação. Obrigada pelos valiosos conselhos, sobretudo pela paciência e compreensão.

Ao professor Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, pela co-orientação, paciência e disponibilidade para contribuir com minha formação, pela hospitalidade juntamente com sua esposa Tatiana Rodrigues, agradeço de coração.

À Dra. Maria Alice Vasconcelos da Silva, pela co-orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Lerner Pinedo, pelo auxílio no trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da UAG, Alberício, Airon Melo, André, Evaristo, Kleber Regis, Dulciene Karla e Kedes, pelos valiosos ensinamentos e contribuição para a minha formação.

Aos amigos que ao longo do mestrado se tornaram pessoas muito importantes, verdadeiros irmãos: Eldânia, Jailson, Gêssica, Livia e Renato, pela amizade e por todos os momentos maravilhosos de convivência que pude vivenciar com vocês.

Aos amigos que fiz durante o mestrado: Rayane, Jorge, Marco, Glauca, Janiere, Hélio, Ribamar, Leones e Daurivane, pela amizade, apoio e demonstração de companheirismo.

Aos colegas: Gêssica, Italvan, Angélica, Antunino e Wanderson, pela ajuda nas atividades de campo e laboratório.

Aos funcionários do laboratório Maria Rita e Milah, pelo auxílio na realização das análises.

Aos colegas do Laboratório de Química Agrícola do Instituto Federal Goiano: Rosana, Vera, Tâmara, Polyana, Ana, Gustavo, José Antônio, Danilo e Ateloir, pela ajuda nas atividades de laboratório e demonstração de companheirismo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Maria Isabel Leite da Silva, filha de Carlos Alberto Pereira da Silva e Maria Ilma Leite da Silva, nasceu na cidade de Serra Talhada, Pernambuco, no dia 26 de junho de 1991.

Ingressou em março de 2009 na Universidade do Estado de Mato Grosso/Campus de Pontes e Lacerda, onde, em agosto de 2013, obteve o título de Bacharela em Zootecnia.

Em agosto de 2013, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens, na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, concentrando seus estudos na área de Produção Animal.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
TABELA DO APÊNDICE	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	17
1 REVISÃO DE LITERATURA	19
1.1 Uso da <i>Brachiaria</i> na pecuária	19
1.2 Ocorrência da salinidade	20
1.2.1 Efeitos do estresse salino no crescimento das plantas	21
1.3 Silício como atenuador do estresse salino no crescimento das plantas	25
2 OBJETIVO GERAL	28
CITAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	29
INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO SILICATADA NO CRESCIMENTO E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DA <i>Brachiaria brizantha</i> CV. MG5 EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO	35
RESUMO	35

INFLUENCE OF SILICATE FERTILIZATION ON GROWTH AND CHEMICAL-BROMATOLOGICAL COMPOSITION OF <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5 IN SALINITY STRESS CONDITIONS	36
ABSTRACT.....	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS.....	51
ANEXO 1	64

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Classificação da qualidade da água com base na concentração total de sal.	21
TABELA 2. Efeito do tempo de exposição à salinidade sobre o crescimento das plantas	22
TABELA 3. Crescimento e composição químico-bromatológica (g/kg MS) da <i>Brachiaria Brizantha</i> cv. MG5 em função das concentrações isoladas do NaCl ou Si na solução nutritiva	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA), teores de Si, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) na parte aérea da <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no primeiro corte.....	58
FIGURA 2. Número de perfilhos (NP), altura, número de folhas senescente (NFS) e teores de Si na parte aérea da <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.	59
FIGURA 3. Matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) na parte aérea da <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.....	60
FIGURA 4. Fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) na parte aérea da <i>Brachiaria brizantha</i> cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.	61

TABELA DO APÊNDICE

	Página
TABELA 1. Volume da solução estoque necessário para a produção de 1 L de solução de cultivo para as diferentes concentrações de Si.	63

RESUMO

O estresse salino é uma ameaça presente na produção agrícola, especialmente onde a irrigação se faz necessária para o cultivo de forragem para a alimentação animal. Para minimizar tal problema, uma alternativa que vem sendo apontada como promissora é o uso do silício (Si) via adubação, em virtude da adição deste mineral aumentar a tolerância das poáceas à salinidade. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada sobre o crescimento e a composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 em condições de estresse salino, utilizando-se quatro concentrações de cloreto de sódio (0; 20; 40 e 60 mmol L⁻¹, equivalentes às condutividades elétricas 0; 3,9; 7,5 e 10,9 dS m⁻¹, respectivamente) e cinco concentrações de Si (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹) na solução nutritiva, e três épocas de corte. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5 x 3, com quatro repetições, onde a parcela experimental foi representada por um vaso contendo uma planta. Nos três cortes realizados as maiores alterações da composição química-bromatológica ocorreram em função das concentrações do cloreto de sódio na solução. As concentrações altas de cloreto de sódio aceleraram a senescência, reduziram o crescimento e o valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. MG5. A concentração de 4 mmol L⁻¹ de Si minimizou os efeitos deletérios do cloreto de sódio na rebrota da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 nos dois últimos cortes, melhorando o crescimento. No entanto, as aplicações dos níveis de silício não foram suficientes para atenuar os efeitos deletérios do cloreto de sódio no valor nutritivo e na produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 nos três cortes estudados.

Palavras chave: Salinidade, adubação silicatada, produção, qualidade, pastagem

ABSTRACT

Salt stress is a present threat to agricultural production, especially where irrigation makes it necessary for forage crops for animal feed. To minimize this problem, an alternative that has been identified as promising is the use of silicon (Si) via fertilizer, due to the addition of this mineral increase tolerance to salinity of poaceae. Thus, the objective was to evaluate the effect of silicon fertilization on the growth and chemical-bromatological composition of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in salt stress conditions, using four concentrations of sodium chloride (0, 20, 40 and 60 mmol L⁻¹, equivalent to the electrical conductivity 0, 3.9, 7.5 and 10.9 dS m⁻¹, respectively), and silicon concentrations (0, 1, 2, 3 and 4 mmol L⁻¹) in the nutrient solution, and three cutting times. The experiment was completely randomized in a factorial 4 x 5 x 3 with four replications, where the experimental plot was represented by a pot containing a plant. In the biggest changes in chemical-bromatological composition were due to the sodium chloride concentration in the solution three cuts made. In the three studied cuts the high concentrations of sodium chloride accelerated senescence, reduced growth and nutritive value of *Brachiaria brizantha* cv. MG5. The concentration of 4 mmol L⁻¹ Si minimized the deleterious effects of sodium chloride in the regrowth of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in the last two cuts, improving growth. However, the applications of silicon levels were not sufficient to mitigate the deleterious effects of sodium chloride in nutritional value and dry matter production of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in the three cuts.

Keywords: Salinity, silicon fertilization, production, quality, pasture

INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária brasileira baseia-se na utilização de pastagens tropicais, por ser a forma mais econômica de produção de alimentos para os ruminantes. Contudo, o uso de gramíneas de clima tropical nem sempre maximiza a produção animal, uma vez que há limitações na qualidade da forragem durante o ano. No Brasil, durante o período chuvoso a produção de forragem é satisfatória, entretanto, nos períodos de escassez de chuvas, a produção de forragem decresce, refletindo negativamente no desempenho produtivo dos animais, devido à baixa ingestão de forragem.

A variabilidade dos fatores edafoclimáticos têm tornado a produção de alimentos para os ruminantes um grande desafio à cadeia produtiva e uma das alternativas para reduzir a estacionalidade da produção de forragem é a irrigação, principalmente em regiões onde outros fatores como a temperatura e a luminosidade permanecem adequados para a produção de plantas tropicais.

A irrigação é uma prática efetiva no aumento da produtividade e na expansão de fronteiras agrícolas, porém, quando utilizada inadequadamente pode causar problemas de excesso de sais nos solos. Dessa forma, a qualidade da água é um dos aspectos relevantes em se tratando do sucesso da irrigação, principalmente, em regiões Áridas e Semiáridas, onde as águas subterrâneas em sua maioria possuem elevadas concentrações de sais que propiciam a salinização do solo.

As regiões de clima árido e semiárido estão propensas à salinização dos solos por causa das condições edafoclimáticas, como a elevada evapotranspiração associada à escassez e irregularidade das chuvas. Somadas ao mau uso das práticas agrícolas, a ocorrência de áreas salinas nestas regiões vem aumentando gradativamente ao longo do tempo, o que compromete a produção agrícola, uma vez que a maioria das culturas não

são tolerantes a altos níveis de salinidade, de modo que as mais sensíveis são drasticamente afetadas pelos efeitos deletérios dos sais.

Várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de viabilizar a utilização agrícola das áreas que apresentam problemas de salinidade, como a avaliação de cultivares sob vários níveis de estresse salino, o melhoramento genético e o manejo agrônômico com a finalidade de minimizar os efeitos deletérios dos sais.

Dentre os manejos agrônômicos realizados para atenuar o efeito do estresse salino em plantas, encontra-se o uso do silício (Si) via adubação, em virtude da adição deste mineral aumentar a tolerância das gramíneas. Pesquisas efetuadas por diversos autores mostram que, principalmente nas gramíneas, o Si exerce efeitos benéficos nas plantas que passaram por estresse salino. Quando o Si é depositado na parede celular e entre os espaços intermicelar da planta, atua nas suas propriedades mecânicas, incluindo a rigidez e a elasticidade, com reflexos na arquitetura da parte aérea, deixando-as mais eretas, aumentando a captação da luz e a taxa fotossintética. Os efeitos benéficos do Si nas plantas já foram relatados pela literatura. No entanto, os seus efeitos na qualidade das pastagens para a produção animal ainda são escassos, sendo necessários estudos para averiguar tais implicações.

As forrageiras representam plantas de grande interesse econômico e diversas são as espécies tropicais utilizadas como opções para a formação de pastagens no Brasil. As do gênero *Brachiaria* têm-se firmado pela capacidade de adaptação às diversas condições ambientais e de manejo da pastagem, destacando-se as espécies *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. ruziziensis*. Essa ampla utilização ocorre por se tratarem de espécies que são adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas do país. Entre as pastagens cultivadas a *Brachiaria brizantha* cv. MG5 é mencionada como alternativa na produção bovina por possuir boa adaptação à média fertilidade dos solos e elevada produtividade, propiciando um maior ganho ao animal, além de apresentar rebrota rápida e floração tardia, viabilizando a utilização na produção de bovinos.

Os estudos com forrageiras para a alimentação animal em condições de estresse salino, assim como os efeitos benéficos do silício nas mesmas são escassos, de modo que o presente estudo torna-se importante para avaliar a influência de ambos na produção e qualidade da forragem. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo investigar a influência do estresse salino e da adubação silicatada no crescimento e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG5.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Uso da *Brachiaria* na pecuária

As gramíneas do gênero *Brachiaria* originaram-se no leste da África e hoje representam um marco na pecuária brasileira, pois ocupam grandes áreas em todo território nacional. O gênero contém mais de 100 espécies distribuídas principalmente nos trópicos. Têm-se firmado pela capacidade de adaptação às diversas condições ambientais e de manejo. Isso ocorre devido às espécies serem adaptadas ao clima tropical e com tipo fotossintético C₄, o que permite uma maior produção de massa de forragem, viabilizando a utilização da mesma (MARTINS et al., 2014).

A maior parte das gramíneas cultivadas no Brasil pertencem ao gênero *Brachiaria* (85% das pastagens cultivadas no país), e são utilizadas em sistemas de cria, recria e engorda de animais criados a pasto (FERRAZ e FELÍCIO, 2010). Apresentam alta produção de massa seca, boa adaptabilidade aos solos de média fertilidade, facilidade de estabelecimento, persistência e bom valor nutritivo, além de apresentar bom crescimento durante a maior parte do ano (SÁVIO et al., 2011).

Dentre as espécies do gênero, a *Brachiaria brizantha* vem obtendo destaque, sendo amplamente utilizada para a formação de pastagens, geralmente em extensas áreas destinadas à atividade pecuária. Nas últimas décadas, alguns cultivares da *Brachiaria brizantha* foram selecionados, como os cultivares Marandu, MG5 e Piatã. A *B. brizantha* cv. MG5 é originada do Burundi, na África. No Brasil, foi lançada em 2003 pela Embrapa, é uma planta cespitosa, com folhas lanceoladas e longas, de coloração verde-escuro. Seus principais atributos positivos são a alta produtividade, com rendimentos de 10 a 18 toneladas de MS ha⁻¹ ano, especialmente de folhas, rápida rebrota e florescimento tardio, prolongando o período de pastejo nas águas, além de alto valor nutritivo e alta capacidade de suporte, resultando em maior produtividade animal quando comparado ao cultivar Marandu (CARLOTO et al., 2011; COSTA et al., 2013; CARVALHO et al., 2014).

Trabalho realizado por Fontes et al. (2014) com três cultivares da *Brachiaria brizantha* (Marandu, MG5 e MG4) constataram que a cultivar MG5 apresentou bom acúmulo de forragem total, com 26.805 kg/ha de matéria seca, com menor porcentagem de material morto (11,23 %), alta relação folha:colmo (1,79), e com maior altura do

dossel (105,19 cm) em relação aos outros cultivares. Dessa forma, a alta relação folha:colmo possibilita um maior aproveitamento pelos bovinos devido a maior taxa nutritiva presentes na folhas, melhorando a digestibilidade e consumo, o que resulta em ganho de peso nos animais, além de conferir à gramínea uma melhor adaptação ao pastejo.

1.2 Ocorrência da salinidade

O termo salinidade refere-se à existência de sais solúveis no solo que podem prejudicar significativamente o desenvolvimento das plantas cultivadas. Os principais íons relacionados à salinidade são os cátions sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e os ânions cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e nitrato (NO_3^-) (YADAV et al., 2011).

Na química o sal é toda substância que em água produz um cátion diferente do H^+ e um ânion diferente do OH^- . Para formar os sais ocorre uma reação de um ácido com uma base, que é a reação de neutralização, formando também água. Os sais mais presentes nos solos salinos são: Cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl_2), cloreto de magnésio (MgCl_2), sulfato de sódio (Na_2SO_4) e sulfato de magnésio (MgSO_4) (MARTINEZ et al., 2010).

Os solos salinos podem ser geralmente encontrados em regiões Áridas e Semiáridas e apresentam condutividade elétrica (CE) igual ou superior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, equivalente a 40 mM NaCl (MUNNS e TESTER, 2008; HORIE et al., 2012).

A salinidade do solo é um dos principais estresses abióticos que ameaçam a produção sustentável de alimentos, e pode ter origem natural ou antropogênica. Os processos naturais estão associados diretamente à pedogênese, responsável pela maior parte da área salinizada no mundo. Entretanto, a salinização causada pela ação antrópica é a que traz o maior impacto econômico, pois ocorre em áreas onde se realizou investimento de capital (JAYAKANNAN et al., 2015).

A salinização de origem antropogênica está associada ao manejo inadequado das práticas agrícolas, como a irrigação, ocorrendo principalmente em regiões Áridas ou Semiáridas, devido à utilização de água proveniente de poços artesianos que, na maioria das vezes, apresentam teores de sais elevados (QADOS e MOFTAH, 2015). Outra

forma que contribui para a salinização dos solos é a aplicação excessiva de fertilizantes, induzindo o estresse osmótico ao sistema radicular da planta (DIAS e BLANCO, 2010).

Atualmente, cerca de 20% das terras irrigadas no mundo são afetadas pela salinidade (RASOOL et al., 2013). Com o uso da irrigação de forma inadequada essas áreas estão propensas a aumentar, comprometendo os solos e a agricultura das regiões de climas árido e semiáridos. Por conseguinte, a qualidade da água (Tabela 1) constitui um fator importante a se considerar na prática da irrigação, evitando assim o acúmulo de sais na superfície do solo.

TABELA 1. Classificação da qualidade da água com base na concentração total de sal.

Descrição da água	Total de sais dissolvidos (mg L ⁻¹)	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)
Água doce	<500	<0,6
Ligeiramente salobra	500-1.000	0,6-1,5
Salobra	1.000-2.000	1,5-3,0
Moderadamente salina	2.000-5.000	3,0-8,0
Salina	5.000-10.000	8,0-15,0
Altamente salina	10.000-35.000	15,0-45,0

Fonte: Adaptado de Hasanuzzaman et al. (2013).

A condutividade elétrica é utilizada para quantificar a salinidade presente no solo ou na água, e sua unidade internacional é o dS m⁻¹ (deciSiemens por metro). A água pura não conduz corrente elétrica, ou seja, a condutividade de uma amostra é devido aos íons dissolvidos nela. Dessa forma, quanto maior a concentração de sais na amostra, maior é a condutividade elétrica (HASANUZZAMAN et al., 2013).

1.2.1 Efeitos do estresse salino no crescimento das plantas

O estresse é uma consequência dos fatores externos que exercem influências desfavoráveis ao vegetal, sejam eles bióticos ou abióticos (JAYAKANNAN et al., 2015). Dentre os fatores abióticos, a salinidade interfere no crescimento da maioria das espécies vegetais, limitando a produtividade agrícola (RAHIMI et al., 2012; OLA et al., 2012). Os mecanismos pelos quais a salinidade afeta o crescimento da planta dependerá do tempo que esta é exposta aos sais (Tabela 2).

TABELA 2. Efeito do tempo de exposição à salinidade sobre o crescimento das plantas

Tempo	Causas	Efeitos
Minutos	Estresse hídrico	Morfológico: Imediata redução na taxa de alongamento da raiz e da folha, às vezes com parcial recuperação. Celular: encolhimento do volume celular.
Horas	Estresse hídrico Deficiência de Ca^{2+}	Morfológico: Redução permanente da raiz e do alongamento da folha. Celular: Alteração do comportamento reológico da parede celular.
Dias	Estresse hídrico Deficiência de Ca^{2+}	Morfológica: Redução da emissão de folhas, aumento da razão raiz: parte aérea. Celular: inibição do desenvolvimento de células.
Semanas	Estresse hídrico Toxicidade de íons	Morfológico: Redução da relação ramos/formação de perfilhos, morte das folhas mais velhas. Celular: Alteração de desenvolvimento apical, acumulação excessiva de Na^+ e Cl^- .
Meses	Estresse hídrico Toxicidade de íons	Morfológico: Alteração no tempo de floração e redução da produção de sementes. Morte prematura de plantas. Celular: Alteração no desenvolvimento de órgãos reprodutivos, a redução da produção.

Fonte: Adaptado de Hasanuzzaman et al. (2013).

A redução no crescimento em função da salinidade foi observada em plantas de cevada (ATABAYEVA et al., 2013), soja (DOLATABADIAN et al., 2011), milho (ROHANIPOOR et al., 2013), pinhão manso (ABOU-LEILA et al., 2012), cana de açúcar (ASHRAF et al., 2010) e capins (MUSCOLO et al., 2003; OLA et al., 2012; MATEOS-NARANJO et al., 2013).

O crescimento das plantas também torna-se mais lento devido à interação dos sais com nutrientes presentes no solo, resultando em desequilíbrios nutricionais na planta. Tais reduções na absorção dos nutrientes essenciais são devidas, principalmente, a mecanismos de competitividade ou alteração estrutural das membranas celulares. As alterações no balanço nutricional da planta resultam em altas relações de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ e $\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ (YADAV et al., 2011; SHAHZAD et al., 2012). Assim, a acumulação de íons nos tecidos por longos períodos pode causar injúrias e a morte da planta (MUNNS, 2005; HASANUZZAMAN et al., 2013).

O excesso de sais nas plantas também pode induzir danos nas proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, além das alterações da fotossíntese e respiração, que afetam o

crescimento e desenvolvimento da planta (BALAKHNINA e BORKOWSKA, 2013; MANAI et al., 2014). O acúmulo excessivo dos sais altera o metabolismo das plantas, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), tais como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e os radicais livres como o superóxido (O_2^-) e o hidroxil (OH), os quais são tóxicos para as células em altas concentrações por causarem danos oxidativos nos lipídios das membranas, proteínas e ácidos nucleicos (MANAA et al., 2013; JAYAKANNAN et al., 2015).

Em condições normais de cultivo, as plantas neutralizam os efeitos deletérios graças aos antioxidantes por elas produzidos (PRISCO, 2010). O sistema enzimático antioxidante inclui as enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidases, que são envolvidas na desintoxicação de radicais superóxido e peróxido de hidrogênio, respectivamente, evitando a formação de radicais hidroxil (GILL e TUTEJA, 2010; LIANG et al., 2015b).

Embora o crescimento das plantas seja controlado por uma multiplicidade de processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, a fotossíntese é um fenômeno fundamental, responsável pelo o crescimento e desenvolvimento da planta (ASHRAF e HARRIS, 2013). A fotossíntese ocorre, principalmente, nas folhas, mais especificamente em organelas especializadas chamadas cloroplastos. Eles são formados por uma dupla membrana, sendo sua parte aquosa chamada de estroma, onde se encontra os tilacóides, que são um conjunto de membranas organizadas em grana (TAIZ e ZEIGER, 2013).

No processo fotossintético dois eventos principais ocorrem obrigatoriamente: a) reações de luz, em que a energia luminosa é convertida em energia química (ATP e NADPH), liberando o oxigênio; e b) reações escuras, em que o CO_2 é fixado em carboidratos, utilizando os produtos das reações de luz, ATP e NADPH. Dessa forma, a energia química utilizada em uma série de processos metabólicos é derivada do processo da fotossíntese, o qual converte a energia da luz para uma forma utilizável de energia química (ASHRAF e HARRIS, 2013). No entanto, em condições de estresse, como a salinidade, o processo de fotossíntese é diretamente afetado, alterando a estrutura das organelas e das concentrações de vários pigmentos e metabolitos, incluindo enzimas envolvidas nesse processo, bem como a regulação dos estômatos (DULAI et al. 2011).

Um dos efeitos mais notáveis do estresse salino é a alteração da biossíntese dos pigmentos fotossintéticos. Estes pigmentos incluem as clorofilas (*a* e *b*) e os

carotenoides, que apresentam uma estrutura química instável e que pode ser facilmente degradada. A clorofila é um composto orgânico formado por carbono, hidrogênio e nitrogênio e contém no centro da sua molécula um átomo de magnésio (BEZERRA NETO e BARRETO, 2011).

Durante o estresse salino, as mudanças nas relações hídricas associadas com o acúmulo de Na^+ e Cl^- nos cloroplastos têm implicações consideráveis na atividade fotossintética das plantas. Ocorrem mudanças no conteúdo total de pigmentos como a clorofila, redução na atividade das enzimas fotossintéticas e limitações no transporte de elétrons nos cloroplastos, causando decréscimos na eficiência fotoquímica do fotossistema 2 (HUANG et al., 2012).

Nas plantas os pigmentos das clorofilas são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia química, sob a forma de ATP e NADPH. Por essa razão, são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, com seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (TANAKA e TANAKA, 2007; MESCHEDE et al., 2011). Já os carotenóides são pigmentos acessórios na absorção e transferência de energia radiante. Estes pigmentos possuem um papel importante na proteção da clorofila em condições de estresse e são conhecidos por manter as reações fotodinâmicas, protegendo a clorofila da peroxidação lipídica e impedindo o colapso da membrana dos cloroplastos (RAMEL et al., 2012).

A redução do teor de clorofila sob o estresse salino é um fenômeno comumente relatada em vários estudos. Chutipajit et al. (2011) em experimento com oito genótipos de arroz expostos a 100 mM de NaCl durante 4 dias, obtiveram resultados menores nos teores da clorofila *a*, clorofila *b* e dos carotenóides, especialmente em genótipos sensíveis ao sal, de 30-50%, 40-50% e 30-37% em relação ao controle, respectivamente. Em contraste, os parâmetros foram mantidos em genótipos tolerantes ao sal por 87-95%, 89-93% e 89-97%. Isto significa que os pigmentos fotossintéticos em genótipos tolerantes aos sais cultivadas tiveram melhores resultados do que os genótipos sensíveis aos sais. Já Amirjani (2011) observou redução das clorofilas *a* e *b* após tratamento com 200 mM de NaCl, durante 14 dias, com valores de clorofila *b* 41% e clorofila *a* 33% menores. Moussa e Galad (2015) trabalharam com plantas de milho em salinidade e observaram redução nos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a + b* e carotenóides), na taxa de assimilação do CO_2 e na taxa de transpiração, evidenciado os efeitos prejudiciais da salinidade no desenvolvimento das gramíneas.

1.3 Silício como atenuador do estresse salino no crescimento das plantas

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, depois do oxigênio (ISA et al., 2010; KLANCNIK et al., 2014). O silício no solo pode ser proveniente da decomposição de resíduo vegetal, da aplicação de fertilizantes ou da transformação dos compostos minerais no solo, e está mais presente em solos jovens, como os Cambissolos, sendo que sua origem está diretamente relacionada ao grau de intemperismo. O Si refere-se ao elemento químico, enquanto a sílica, dióxido de silício, ou SiO_2 , é um composto que contém tanto Si e oxigênio. Os silicatos são sais em que a sílica é combinada com o oxigênio ou com outros elementos como o Al, Mg, Ca, Na, Fe e K estando presentes em mais de 95% das rochas, formando, assim, os silicatos de cálcio (CaSiO_3), de magnésio (MgSiO_3), de sódio (Na_2SiO_3), de potássio (K_2SiO_3), dentre outros (HECKMAN, 2013). Já o ácido monossilícico (H_4SiO_4), refere-se à forma disponível para absorção das plantas (COOKE e LEISHMAN, 2011).

A forma de fornecimento do Si para as plantas vem sendo estudada, recentemente, a partir da liberação do uso do silicato de potássio (K_2SiO_3) como fertilizante. Até então, o Si era fornecido para as plantas somente via uso de resíduos de siderurgia, na forma de silicatos de cálcio e magnésio, os quais apresentam baixa solubilidade em água e, dependendo da origem, podem apresentar traços de metais pesados. Dessa forma, o silicato de potássio é uma fonte interessante de fornecimento de Si, o que atualmente já vem sendo utilizado na agricultura, a fim de amenizar os efeitos deletérios ocasionados pelo estresse, tanto biótico como abiótico (FREITAS et al. 2011).

O Si, apesar de não ser considerado um elemento essencial às plantas, é um elemento benéfico com a capacidade de reduzir o impacto de agentes estressores (SHI et al., 2013). Pesquisas atuais mostram efeitos benéficos da adubação com Si em espécies vegetais que foram submetidas a estresse de natureza biótica ou abiótica (ASHRAF et al., 2010; PARVEEN e ASHRAF, 2010; ALI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013). O aumento da disponibilidade do Si tem resultado em incremento no crescimento e na produtividade, uma vez que esse elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, propiciando acréscimo no teor de clorofila nos tecidos foliares, alterando a arquitetura das plantas, evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência e protegendo as plantas quando são submetidas a algum tipo de estresse (EPSTEIN e BLOOM, 2006; MA e YAMAJI, 2008; ABDALLA,

2011), estes estresses, causados por altas temperaturas, metais pesados, salinidade e hídrico, por exemplo, podem ter seus efeitos reduzidos com o uso do Si (PRABAGAR et al., 2011).

Nos tecidos vegetais, aproximadamente 99% do silício encontra-se depositado na forma de sílica e menos de 1,0% encontra-se na forma coloidal ou iônica, que é a forma solúvel. Portanto, os locais do armazenamento de silício em plantas normalmente são responsáveis para melhorar a arquitetura e também outros processos metabólicos como o das trocas gasosas (PEREIRA et al., 2013).

As plantas absorvem o Si pelas raízes na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), que é transportado pelo xilema e posteriormente depositado como sílica amorfa ($SiO_2 \cdot H_2O$) na parede celular, lúmen da célula, nos espaços intracelulares e nos tricomas (MOHSENI e SABBAGH, 2014). O Si pode ser transportado na planta pela forma ativa, via transportadores (Lsi1 e Lsi2) de silício baseados em ATP (LOBATO et al., 2013; KLANCNIK et al., 2014; APAOLAZA, 2014; LIANG et al., 2015b), como foi identificado em várias espécies de plantas acumuladoras e intermediárias na deposição do Si, incluindo o arroz, a cevada, o milho, o trigo, a banana e o pepino (LIANG et al., 2015a).

Todas as plantas terrestres contêm Si em seus tecidos, sendo que a concentração do Si na parte aérea varia muito entre as espécies (0,1 a 10% de Si no peso seco), mostrando uma distribuição extremamente desigual nos vegetais (LIANG et al., 2015a). Dessa forma podem ser divididas em três grupos, de acordo com a sua capacidade de absorção e acúmulo do Si nos órgãos das plantas. As espécies acumuladoras de silício, em geral, as monocotiledôneas (Gramíneas), têm o processo ativo de absorção do silício, e possuem teor foliar acima de $10,0 \text{ g kg}^{-1}$ de silício na matéria seca. As espécies não acumuladoras, em geral as leguminosas, que absorvem o silício a favor de um fluxo de transpiração de forma mais lenta que a absorção da água, e discriminam o silício na absorção pelo simplasto, sendo estas exclusoras na absorção do silício com um teor foliar menor que $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de silício na matéria seca. Nas espécies intermediárias a acumulação do silício apresenta absorção de silício via simplasto, na mesma velocidade que a absorção da água, resultando desta forma um teor menor que 10 g kg^{-1} (CORNELIS et al., 2011).

O crescimento e a produtividade de muitas gramíneas têm melhorado com adubação com Si. Sávio et al., (2011) em pesquisa com Si via aplicação foliar em duas espécies de gramíneas, *B. decumbens* cv. Basilisk e *P. maximum* cv. Mombaça,

relataram que o Si promoveu acréscimos na produção da matéria seca para as duas espécies estudadas. Trabalho realizado por Campos et al. (2014) com *Brachiaria brizantha* cv. MG5 com cinco doses de Si (0, 75, 150, 225, 300 mg dm⁻³) combinadas com cinco doses de nitrogênio (10, 50, 90, 130, 170 mg dm⁻³), observaram que as doses elevadas de Si aumentaram a eficiência da utilização do N pela planta, favorecendo uma maior economia na adubação nitrogenada. Estes mesmos autores concluíram que o Si aumentou a capacidade fotossintética das plantas, deixando as suas folhas com uma disposição mais ereta, promovendo um maior aproveitamento da luz solar e simultâneo aumento no crescimento, visto que essa espécie é classificada como uma planta C₄ sendo mais eficiente na síntese de fotoassimilados, os quais são utilizados no crescimento.

Estudos recentes também evidenciaram efeitos benéficos do Si no crescimento de muitas espécies de plantas (canola, soja, trigo, sorgo, tomate e milho) submetidas a condições de estresse salino, aumentando a área foliar, o teor de clorofila e melhorou a estrutura dos cloroplastos, o que proporcionou aumento da atividade fotossintética (HASHEMI et al., 2010; LEE et al., 2010; TAHIR et al., 2012; BAE et al., 2012; YIN et al., 2013; HAGHIGHI e PESSARAKLI, 2013; ROHANIPOOR et al., 2013).

Em contrapartida, Freitas et al. (2011), em estudo realizado com níveis de Si adicionado via aplicação foliar, não observaram influência no crescimento e na produção das plantas de milho, uma vez que os efeitos benéficos do Si são normalmente expressos mais claramente em condições de estresse, seja biótico ou abiótico, o que não ocorreu em tal trabalho. Moussa e Galad (2015) em pesquisa com cultivares de milho com tratamento de zero e 150 mM de NaCl e 2,5 mM de Si, observaram efeitos positivos na adição do Si, sendo a absorção do Na⁺ inibida pelo efeito inibitório do Si sobre o fluxo de transpiração. A aplicação do Si aumentou a concentração de N, P, e K nas plantas de milho.

Os efeitos do Si na mitigação do estresse salino também foram comprovados por Ashraf et al. (2010) em cana de açúcar. A adição do Si reduziu a absorção e o transporte do Na⁺ para a parte aérea e aumentou a absorção de K⁺, o que melhorou o crescimento e, conseqüentemente, a produção nos genótipos da cana de açúcar estudados.

Como mencionado anteriormente, o Si desempenha um papel importante na proteção das plantas em estresse salino. No entanto, considerando as gramíneas destinadas à alimentação animal, é necessária a atenção, a fim de que a deposição de Si

não comprometa a qualidade da forragem, uma vez que a deposição de sílica aumenta a rigidez das folhas e assim pode reduzir a aceitabilidade pelos animais em pastoreio.

Em pesquisa realizada por Melo et al. (2010) com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivadas em três doses de Si (150, 300 e 450 mg dm⁻³), os autores constataram que as folhas acumularam Si durante toda a vida e não apenas durante o processo de desenvolvimento. Comparando-se as lâminas foliares recém-expandidas e as lâminas de folhas maduras, as concentrações de Si foram 12,9 e 17,7 g kg⁻¹, respectivamente. À medida que as lâminas foliares mais velhas apresentaram maior teor de Si que as outras partes da planta, a digestibilidade da forragem pode ser reduzida em pasto onde estas folhas predominam. Portanto, acredita-se que o manejo adequado das pastagens através da adequação da lotação animal em pastejo possibilite uma maior desfolha, diminuindo, assim, as folhas velhas excessivas no dossel, não comprometendo a qualidade da forragem devido à alta deposição de Si nos tecidos foliares.

Portanto, sabe-se da importância do Si nas propriedades fisiológicas da planta e sua atuação na proteção ao estresse, mas, em relação aos efeitos de sua deposição na parede celular em relação à qualidade da forragem ainda são necessários estudos.

2 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se avaliar a influência da adubação silicatada no crescimento e composição químico-bromatológica da *B. brizantha* cv. MG5 em condições de estresse salino.

O artigo científico foi redigido seguindo as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (ANEXO I).

CITAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

- ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, n.2, p.207-220, 2011.
- ABOU-LEILA, B.; METWALLY S.A.; HUSSEN, M.M. et al. The Combined Effect of Salinity And Ascorbic Acid on Anatomical and Physiological Aspects of Jatropha Plants. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.6, p.533-541, 2012.
- ALI, A.; BASRA, S.M.A.; HUSSAIN, S. et al. Increased growth and changes in wheat mineral composition through calcium silicate fertilization under normal and saline field conditions. **Chilean journal of agricultural research**, v.72, n.1, 2012.
- AMIRJANI, M.R. Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. **International Journal of Botany**, p.1-9, 2011.
- APAOLAZA, L.H. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? a review. **Planta**, v.240, p.447-458, 2014. DOI 10.1007/s00425-014-2119-x.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v.51, n.2, p.163-190, 2013.
- ASHRAF, M.; RAHMATULLAH, M.; AFZAL, R. et al. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Plant Soil**, v.326, p.381-391, 2010.
- ATABAYEVA, S.; NURMAHANNOVA, A.; MINOCHA S. et al. The effect of salinity on growth and anatomical attributes of barley seedling (*Hordeum vulgare* L.). **African Journal Biotechnol**, v.12, p.2366-2377, 2013.
- BAE, E.J.; LEE, K.S.; HUH, M.R. et al. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). **Horticulture Environment and Biotechnology**, v.53, p.477-483, 2012.
- BALAKHNINA, T.; BORKOWSKA, A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. **Institute of Agrophysics**, v.27, p.225-232, 2013.
- BEZERRA NETO, E; BARRETO, L. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 261p.
- CAMPOS, O.H.G.; LIZZI, J.B.; SANTOS, M.P. et al. Silício e nitrogênio no estabelecimento da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. **Synergismus scyentifica**, v.9, n.1, 2014.

- CARLOTO, M.N.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B. et al. Desempenho animal e características de pasto de capim-xaraés sob diferentes intensidades de pastejo, durante o período das águas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.97-104, 2011.
- CARVALHO, C.A.B.; PERES, A.A.C. PREMAZZI, L.M. Performance of dairy heifers raised on Xaraés palissadgrass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) pasture supplemented with two types of mineral mixture. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.34, n.1, p.46-50, 2014.
- CHUTIPAIJIT, S.; CHA-UM, S.; SOMPORNPAILIN, K. High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. Indica. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, n.10, p.1191-1198, 2011.
- COOKE, J.; LEISHMAN, M.R. Silicon concentration and leaf longevity: is silicon a player in the leaf dry mass spectrum? **Functional Ecology**, v.25, p.1181-1188, 2011.
- CORNELIS, J.T.; DELVAUX, B.; GEORG, R.B. et al. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. **Biogeosciences**, v.8, p.89-112, 2011.
- COSTA, K.A.P; SEVERIANO, E.C. SILVA, F.G. et al. Doses and sources of nitrogen on yield and bromatological composition of Xaraés grass. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.14, n.3, p. 288-298, 2013.
- DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H.R; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed.) Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- DOLATABADIAN, A.; MODARRES SANAVY, S.A.M.; GHANATI, F. Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. **Notulae Scientia Biologicae**, v.3, p.41-45, 2011.
- DULAI, S.; MOLNÁR, I.; LÁNG, M.M. Changes of photosynthetic parameters in wheat/barley introgression lines during salt stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v.55, n.1, p.73-75, 2011.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- FERRAZ, J.B.S.; FELÍCIO, P.E. Production systems-An example from Brazil. **Meat Science**, v.84, p.238-243, 2010.
- FONTES, J.G.G.; FAGUNDES, J.L.; BACKES, A.A. Acúmulo de massa seca em cultivares de *Brachiaria brizantha* submetida a intensidades de desfolhação. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n.3, p.1425-1438, 2014.
- FREITAS, L.B.; COELHO, E.M.; MAIA, S.C.M. et al. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p.262-267, 2011.

- GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.
- HAGHIGHI, M.; PESSARAKLI, M. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. **Scientia Horticulturae**, v.161, p.111-117, 2013.
- HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. In: AHMAD, P. et al. (eds.), **Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress**. 25-87p. 2013.
- HASHEMI A, ABDOLZADEH A, SADEGHIPOUR HR. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.56, p.244-253, 2010.
- HECKMAN, B.J. Silicon: A Beneficial Substance. **Better Crops**, v.97, n.4, 2013.
- HORIE, T.; KARAHARA, I.; KATSUHARA, M. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. **Rice**, v.5, n.11, p.1-18, 2012.
- HUANG, Z.; LONGA, X.; WANGA, L. et al. Growth, photosynthesis and H⁺-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl-induced stress. **Process Biochemistry**, v.47, p.591-596, 2012.
- ISA, M.; BAI, S.; YOKOYAMA, T.; MA, J.F. et al. Silicon enhances growth independent of silica deposition in a low-silica rice mutant, *lsi1*. **Plant Soil**, v.331, p.361-375, 2010.
- JAYAKANNAN, M.; BOSE, J.; BABOURINA, O. et al. The NPR1-dependent salicylic acid signalling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in Arabidopsis. **Journal of Experimental Botany**, 2015.
- KLANCNIK, K.; MIKUŠ, K.V.; GABERŠCIK, A. Silicified structures affect leaf optical properties in grasses and sedge. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.130, p.1-10, 2014.
- LEE, S.K.; SOHN, E.Y.; HAMAYUN, M. et al. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. **Agroforest Syst**, v.80, p.333-340, 2010.
- LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R. et al. Silicon in Agriculture. In: Silicon Uptake and Transport in Plants: Physiological and Molecular Aspects. **Springer Scienc**, p.69-82, 2015a.
- LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R. et al. Silicon in Agriculture. In: Silicon-Mediated Tolerance to Salt Stress. **Springer Science**, p.123-142, 2015b.

- LOBATO, A.K.S.; GUEDES, E.M.S.; MARQUES, D.J. et al. Silicon: A benefic element to improve tolerance in plants exposed to water deficiency. **Agricultural and Biological Science**, v.16, 2013.
- MA, J.F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.65, p.3049-3057, 2008.
- MANAA, A.; MIMOUNI, H.; WASTI, S. et al. Comparative proteomic analysis of tomato (*Solanum lycopersicum*) leaves under salinity stress. **Plant Omics Journal**, n.6, v.4, p.268-277, 2013.
- MANAI, J.; KALAI, T.; GOUIA, H. et al. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.14, n.2, p.433-446, 2014.
- MARTINEZ, M.A.; SILVA, J.B.G.; PEREIRA, D.R. **Modelagem do movimento de sais no solo**. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed.) Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- MARTINS, L.E.C.; MONTEIRO, F.A.; PEDREIRA, B.C. Photosynthesis and Leaf Area of *Brachiaria brizantha* in Response to Phosphorus and Zinc Nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, n.18, v.28, 2014.
- MATEOS-NARANJO, E.; ANDRADES-MORENO, L.; DAVY, A.J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.63, p.115-121, 2013.
- MELO, S. P.; MONTEIRO, F.A.; BONA, F.D. Silicon distribution and accumulation in shoot tissue of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*. **Plant Soil**, v.336, p.241-249, 2010.
- MENDONÇA, A.O.; TAVARES, L.C.; BRUNES, A.P. et al. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1154-1162, 2013.
- MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A. et al. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.
- MOHSENI, V.G.; SABBAGH, S.K. The Ameliorative effects of silicon element on improvement of plants tolerance to diseases. **Scientia Agriculturae**, v.8, n.2, p.80-85, 2014.
- MOUSSA, H.R.; GALAD, M.A.R. Comparative Response of Salt Tolerant and Salt Sensitive Maize (*Zea mays* L.) Cultivars to Silicon. **European Journal of Academic Essays**, v.2, n.1, p.1-5, 2015.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, p.645-663, 2005.

- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.
- MUSCOLO, A.; PANUCCIO, M.R.; SIDARI, M. Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst). **Plant Science**, v.164, p.1103-1110, 2003.
- OLA, H.A.E.; REHAM, E.F.; EISA, S.S. et al. Morpho-anatomical changes in salt stressed kallar grass (*Leptochloa fusca* L. Kunth). **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v.8, n.2, p.158-166, 2012.
- PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. **Pakistan Journal of Botany**, v.42, n.3, p.1675-1684, 2010.
- PEREIRA, T.S.; LOBATO, A.K.S.; TAN, D.K.Y. Positive interference of silicon on water relations, nitrogen metabolism, and osmotic adjustment in two pepper (*Capsicum annuum*) cultivars under water deficit. **Australian Journal of Crop Science**, v.7, n.8, p.1064-1071, 2013.
- PRABAGAR, S.; HODSON, M.J.; EVANS, D.E. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p.266-276, 2011.
- PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H.R; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Ed.) Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- QADOS, A.M.S.A.; MOFTAH, A.E. Influence of Silicon and Nano-Silicon on Germination, Growth and Yield of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Under Salt Stress Conditions. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.6, n.5, p.509-524, 2015.
- RAHIMI, R.; MOHAMMAKHANI, A.; ROOHI, V. Effects of salt stress and silicon nutrition on chlorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4, n.21, p.1591-1595, 2012.
- RAMEL, F.; BIRTIC, S.; CUINÉ, S. Chemical Quenching of Singlet Oxygen by Carotenoids in Plants. **Plant Physiology**, v.158, p.1267-1278, 2012.
- RASOOL, S.; HAMEED, A.; AZOOZ, M.M. et al. **Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants**. In: AHMAD, P. et al. (eds.), Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. 1-24p. 2013.
- ROHANIPOOR, A.; NOROUZI, M.; MOEZZI, A. et al. Effect of Silicon on Some Physiological Properties of Maize (*Zea mays*) under Salt Stress. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences**, v.7, n.20, p.71-79, 2013.

- SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R. et al. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p. 103-110, 2011.
- SHAHZAD, M.; WITZEL, K.; ZO'RB, C. et al. Growth-Related Changes in Subcellular Ion Patterns in Maize Leaves (*Zea mays* L.) under Salt Stress. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.198, p.46-56, 2012.
- SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T.J. et al. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, v.170, p.847-853, 2013.
- TAHIR, M.A.; AZIZ, T.; FAROOQ, M. et al. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.58, p.247-56, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TANAKA, R.; TANAKA, A. Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. **Annual Review Plant Biology**, v.58, p.321-46, 2007.
- YADAV, S. IRFAN, M. AHMAD, A. et al. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. **Journal of Environmental Biology**, v.32, p.667-685, 2011.
- YIN, L.; WANG, S; LI, J. et al. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of Sorghum bicolor. **Acta Physiol Plant**, v.35, p.1-9, 2013.

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO SILICATADA NO CRESCIMENTO E NA
COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DA *Brachiaria brizantha* CV. MG5
EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estresse salino e da adubação silicatada no crescimento e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. MG5. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado, sob o esquema fatorial 4 x 5 x 3, com quatro repetições, onde os tratamentos foram quatro concentrações de cloreto de sódio (NaCl) (0; 20; 40 e 60 mmol L⁻¹), com cinco concentrações de silício (Si) (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹) na solução nutritiva e três épocas de corte (30, 60 e 90 dias). Nos três cortes estudados, as concentrações altas do NaCl aceleraram a senescência, reduziram o crescimento e o valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. MG5. A concentração de 4 mmol L⁻¹ de Si minimizou os efeitos deletérios do cloreto de sódio na rebrota da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 nos dois últimos cortes, melhorando o crescimento. No entanto, as aplicações dos níveis de silício não foram suficientes para atenuar os efeitos deletérios do cloreto de sódio no valor nutritivo e na produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 nos três cortes estudados.

Palavras chave: Salinidade, silício, qualidade da pastagem

INFLUENCE OF SILICATE FERTILIZATION ON GROWTH AND CHEMICAL-BROMATOLOGICAL COMPOSITION OF *Brachiaria brizantha* cv. MG5 IN SALINITY STRESS CONDITIONS

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effect of salt stress and Silicon fertilization on growth and nutritive value of *Brachiaria brizantha* cv. MG5. The experiment was a completely randomized design in the factorial 4 x 5 x 3 with four replications, where the treatments were four concentrations of sodium chloride (NaCl) (0, 20, 40 and 60 mmol L⁻¹), with five concentrations of silicon (Si) (0, 1, 2, 3 and 4 mmol L⁻¹) in the nutritive solution, and three cutting times (30, 60 e 90 dias). In the three studied cuts the high concentrations of NaCl accelerated senescence, reduced growth and nutritive value of *Brachiaria brizantha* cv. MG5. The concentration of 4 mmol L⁻¹ Si minimized the deleterious effects of sodium chloride in the regrowth of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in the last two cuts, improving growth. However, the applications of silicon levels were not sufficient to mitigate the deleterious effects of sodium chloride in nutritional value and dry matter production of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in the three cuts.

Keywords: Salinity, silicon, pasture quality

INTRODUÇÃO

O termo salinidade refere-se à existência de sais solúveis no solo que podem prejudicar significativamente o desenvolvimento das plantas (Yadav et al., 2011). Assim a salinidade é um dos estresses abióticos que interfere no crescimento da maioria das espécies vegetais, limitando a produtividade agrícola (Ola et al., 2012; Jayakannan et al., 2015), principalmente através da toxicidade causada pela excessiva absorção dos sais, como os íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) (Shahzad et al., 2012). Dessa forma, a interação dos sais com os nutrientes presentes no solo resulta em desequilíbrios nutricionais nas plantas (Rahimi et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013).

A salinidade pode ter origem natural, que está relacionada à pedogênese, ou antropogênica, a qual está associada ao manejo inadequado da irrigação (Atabayeva et al., 2013; Qados e Moftah, 2015).

Uma alternativa para amenizar esses efeitos deletérios dos sais é uso do silício (Si) via adubação, pois a adição deste elemento aumenta a tolerância das poáceas à salinidade (Ashraf et al., 2010; Parveen e Ashraf, 2010). Embora, o Si não seja considerado essencial às plantas, é um elemento benéfico com a capacidade de reduzir o impacto dos agentes estressores. Pesquisas atuais revelam efeitos benéficos da adubação com Si em varias espécies vegetais que foram submetidos a estresse de natureza abiótica (Ali et al., 2012; Mendonça et al., 2013; Rohanipoor et al., 2013; Moussa e Galad, 2015).

O aumento da disponibilidade de Si tem resultado em incrementos no crescimento, uma vez que esse elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse (Hashemi et al., 2010; Lee et al., 2010; Abdalla, 2011; Tahir et al., 2012; Bae et al., 2012; Yin et al., 2013). No entanto, considerando as gramíneas para a alimentação animal, a quantidade de Si pode comprometer a qualidade da forragem (Melo et al., 2010), uma vez que a deposição de sílica na parede celular aumenta à abrasividade das folhas e, assim, reduz sua aceitabilidade pelos animais em pastejo.

Neste contexto a qualidade da forragem torna-se importante fator a se considerar para obter bom desempenho animal. No Brasil as gramíneas do gênero *Brachiaria* spp. ocupam aproximadamente 85% das áreas de pastagens cultivadas (Ferraz e Felício, 2010; Melo et al., 2010; Martins et al., 2014). Isso ocorre devido às poáceas serem bem

adaptadas ao clima tropical, o que permite uma maior produção de forragem, viabilizando a utilização dessas espécies. Dentre as espécies desse gênero, uma vem obtendo destaque no cenário nacional é a *Brachiaria brizantha* cv. MG5, com rendimentos de 10 a 18 toneladas de MS ha⁻¹ ano e com valores nutritivos consideráveis, além de apresentar rebrota rápida e floração tardia, viabilizando sua utilização na produção de bovinos (Carloto et al., 2011; Costa et al., 2013; Carvalho et al., 2014).

Os estudos com plantas forrageiras em condições de estresse, assim como os efeitos benéficos do silício nas mesmas são escassos, de modo que o presente estudo torna-se importante para avaliar a influência desses fatores na produção e qualidade da forragem. Assim, o presente estudo objetivou avaliar a influência do estresse salino e da adubação silicatada no crescimento e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG5.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação e as análises foram realizadas no LANA (Laboratório de Nutrição Animal) e no CENLAG (Central de Laboratórios de Garanhuns), ambos localizados na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado sob o esquema fatorial 4 x 5 x 3, sendo quatro concentrações de NaCl (0; 20; 40 e 60 mmol L⁻¹) equivalentes às condutividades elétricas 0; 3,9; 7,5 e 10,9 dS m⁻¹, respectivamente; cinco concentrações de Si (0; 1; 2; 3 e 4 mmol L⁻¹) na solução nutritiva; com três épocas de corte, realizadas a cada 30 dias (Costa et al., 2007); e quatro repetições, onde a parcela experimental foi representada por um vaso contendo uma planta.

As sementes foram distribuídas em bandejas contendo areia lavada umedecida com água deionizada. Após a emissão da primeira folha, as plântulas foram transplantadas para bandejas de 10,0 L, contendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) a 25% de força iônica, sendo aumentada a cada 25% de força iônica até atingir 75%, sob aeração. Após 15 dias de adaptação, as plantas passaram por uma seleção quanto à uniformidade e foram transferidas definitivamente para os vasos (altura: 18 cm, diâmetros: 18 e 16 cm e volume: 3,5 L), contendo solução nutritiva a 100% da força iônica, com os respectivos tratamentos, sob aeração via compressor.

As doses de Si foram aplicadas via solução de silicato de potássio a 1,0 M (solução comercial de K_2SiO_3 com 171 g Si L^{-1} ; 210 g K_2O L^{-1} ; pH = 12; densidade = 1,4 g cm^{-3}). As doses de K^+ foram ajustadas pela redução das doses de KNO_3 e as de N pela adição de HNO_3 (Tabela 1 do Apêndice). Quando necessário, o volume da solução foi repostado e o pH das soluções foi ajustado para 5,5 com a adição de 0,5 mol H_2SO_4 L^{-1} e 0,5 mol KOH L^{-1} . A Condutividade Elétrica (CE) da solução de cada vaso também foi monitorada a cada dois dias. Quando a CE das soluções das plantas reduziu a 40% da solução inicial, as soluções foram trocadas.

Entre as variáveis de crescimento foram avaliadas a altura das plantas, o número de perfilhos e a produção de massa seca.

A altura das plantas foi obtida com o auxílio de uma trena, tomando-se a base do perfilho mais desenvolvido até a inflexão da folha mais alta. O número de perfilhos foi obtido pela contagem de todos os perfilhos da planta/vaso. O número de inflorescência foi obtido pela contagem de pendões florais em cada planta, também foi realizada a contagem de folhas senescentes. Estas variáveis foram quantificadas antes de cada corte. Em seguida realizou-se o corte a 15 cm de altura da base da planta, para obter a parte aérea (Tamele, 2009).

A parte aérea de cada corte foi seca em estufa de circulação de ar forçada a 65°C para determinação da produção de massa seca (g/vaso), e posteriormente moída em moinho tipo *Willey*, com peneira de 1,0 mm de crivo. Desta fração foram retiradas alíquotas para as determinações dos teores de matéria seca (MS) segundo o protocolo 967.03, matéria orgânica (MO) e matéria mineral (MM) (942.05), proteína bruta (PB) (981.10), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) (973.18) (AOAC, 1990). O nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram determinados a partir dos resíduos da FDN e FDA, respectivamente, os valores de proteína insolúvel em detergente neutro foram calculados pela fórmula: $PIDN = [6,25 * NIDN (\%MS)]$, posteriormente corrigido para FDN na MS, e a proteína insolúvel em detergente ácido pela fórmula $PIDA = [6,25 * NIDA (\%MS)]$, depois corrigido para FDA na MS (Detmann et al., 2012). Os teores do Si foram determinados segundo Bezerra Neto e Barreto (2011).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao ajuste do modelo matemático multivariado (superfície de resposta) em função das concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva com o auxílio do programa R (R Core Team, 2014). Para comparar as diferentes coletas, foi realizado o teste de identidade de

modelos matemáticos, quando os mesmos foram similares. Adotou-se o nível de 5% ($p < 0,05$) de significância. Os gráficos foram construídos no programa SigmaPlot v.11.0 (SigmaPlot, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiro corte

A massa seca da parte aérea (MSPA) reduziu linearmente em função das concentrações do NaCl no meio (Figura 1 A). O menor valor da MSPA foi de 8,52 g/vaso com a concentração de 60 mmol L⁻¹ do NaCl. Com o incremento do Si na solução observou-se acréscimo da MSPA de 13,37 g/vaso para 16,12 g/vaso nas plantas cultivadas com 0 e 4 mmol L⁻¹ de Si no meio sem NaCl (Figura 1 A), no entanto, as concentrações do Si não foram suficientes para minimizar os efeitos deletérios do NaCl e assim melhorar o crescimento vegetativo da forrageira.

Os excessos de sais nas plantas alteram a taxa fotossintética prejudicando o seu crescimento (Zhani et al., 2012; Balakhnina e Borkowska, 2013; Manai et al., 2014). O decréscimo na taxa fotossintética é devido a vários fatores: a) desidratação das membranas celulares que reduzem a sua permeabilidade ao CO₂, b) toxicidade do sal, c) redução da assimilação do CO₂ por causa do fechamento dos estômatos, e d) a maior senescência induzida pela salinidade (Parida e Das, 2005; Rohanipoor et al., 2013). Além disso, a toxidade pelos sais altera a estrutura das organelas e as concentrações dos pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a*, *b* e carotenóides) envolvidos na fotossíntese (Dulai et al., 2011; Huang et al., 2012; Moussa e Galad, 2015).

O número de perfilhos (NP) reduziu linearmente à medida que as concentrações do NaCl no meio foram aumentando (Tabela 3). O menor valor do NP foi de 12 perfilhos/plantas com a concentração de 60 mmol L⁻¹ NaCl, sendo o maior valor de 16 perfilhos nas plantas cultivadas sem estresse (Tabela 3). Para o número de pendões florais (NPF) e número de folhas senescentes (NFS) houve incremento com a adição das concentrações do NaCl (Tabela 3).

Um dos mecanismos de tolerância das plantas ao estresse salino é o fechamento dos estômatos para reduzir o acúmulo dos sais no tecido vegetal. Com o fechamento dos estômatos há diminuição das trocas gasosas e conseqüente redução da assimilação do

CO₂ pela fotossíntese, com reflexo negativo no crescimento (Ashraf e Harris, 2013; Balakhnina e Borkowska, 2013; Manai et al., 2014; Moussa e Galad, 2015). Assim, a toxicidade dos íons reduziram a formação de novos perfilhos e a produção de MSPA, acelerando a senescência das folhas (Hasanuzzaman et al., 2013) e levando ao encurtando o ciclo de desenvolvimento da planta.

Com a aceleração da senescência e do ciclo de desenvolvimento das plantas há mobilização de fotoassimilados e nutrientes das folhas para a produção das sementes e lignificação de tecidos de sustentação como os colmos (Taiz e Zeiger, 2013), dessa forma refletindo negativamente nas variáveis de crescimento.

Alguns trabalhos também evidenciaram redução no crescimento das plantas cultivadas em estresse salino, como a cevada (Atabayeva et al., 2013), a soja (Dolatabadian et al., 2011), o milho (Rohanipoor et al., 2013; Moussa e Galad, 2015) e alguns capins (Muscolo et al., 2003; Ola et al., 2012; Mateos-Naranjo et al., 2013).

As concentrações do Si e do NaCl na solução não alteraram a altura (ALT) das plantas no primeiro corte, cujo valor médio foi de 85,18 cm.

Os teores de Si no tecido vegetal reduziram em função das concentrações do NaCl na solução (Figura 1 B). Em função das concentrações de Si no meio houve efeito quadrático, com os maiores valores obtidos com 3,90; 3,25; 2,61 e 1,95 mmol L⁻¹ de Si nas concentrações 0, 20, 40 e 60 mmol L⁻¹ de NaCl na solução, respectivamente (Figura 1 B), ou seja, com o incremento da condição de estresse (NaCl na solução), observou-se uma redução das concentrações de Si no meio que proporcionaram o máximo teor desse elemento no tecido vegetal (Figura 1 B).

A redução da absorção do Si se justifica pela diminuição da transpiração das plantas, quando sob estresse (Liang et al., 2007; Oliveira et al., 2011; Ashraf e Harris, 2013). A menor transpiração das plantas reduz a atividade metabólica e a energia disponível para a absorção dos nutrientes (Taiz e Zeiger, 2013). Como a absorção do Si é ativa, e requer mais energia (Ma e Yamaji 2006; Cornelis et al., 2011; Lobato et al., 2013; Klancnik et al., 2014; Liang et al., 2015a; Ma et al., 2015), conseqüentemente sob estresse há menor absorção.

O teor de matéria seca (MS) obteve efeito quadrático inverso em função das concentrações de Si no meio (Tabela 3). O menor valor de MS (291,40 g/kg MN) foi obtido com 2,65 mmol L⁻¹ de Si na solução. Com o aumento da concentração do Si houve o aumento no teor de água na parte aérea das plantas. O Si absorvido pelas plantas é acumulado em células buliformes (Melo et al., 2010), e o seu acúmulo e

precipitação nas folhas reduzem a perda de água pelas plantas, através da inibição da taxa de transpiração (Ma e Yamaji, 2006; Liang et al., 2015b).

O incremento do Si no tecido vegetal leva à formação de opala biogênica, ou cristais de polímeros de sílica junto às células responsáveis pelo controle osmótico das plantas, aumentando a retenção de água, com conseguinte redução do teor de MS (Tabela 3). Entretanto, o acúmulo dos cristais de sílica no tecido vegetal reduz o aproveitamento da forrageira pelos animais (Van Soest, 1994).

Em pesquisa realizada por Costa et al. (2007) com a *B. brizantha* cv. MG5 em diferentes intervalos de cortes obtiveram resultados da MS menores que o encontrado neste trabalho (60,00; 172,00; 210,00 e 266,00 g/kg MN) para os intervalos de cortes (15; 20; 30 e 60 respectivamente) sem estresse salino e adubação com Si. Mesmo com a redução da MS em função do Si (Tabela 3), o menor valor obtido (291,4 g/kg MN) foi superior ao encontrado por Costa et al. (2007) (210,00 g/kg MN) aos 30 dias.

Os teores de matéria orgânica (MO) e matéria mineral (MM) variaram em função das concentrações do NaCl na solução com ajuste quadrático (Tabela 3). O maior valor de MO (909,60 g/kg MS) e menor valor de MM (90,40 g/kg MS) foram obtidos com 21 mmol L⁻¹ do NaCl na solução nutritiva. Plantas sob estresse reduzem a absorção de íons (Taiz e Zeiger, 2013; Epstein e Bloom, 2006).

Assim, a redução da MM até 21 mmol L⁻¹ do NaCl na solução pode ser atribuída à redução da absorção dos íons. Todavia, houve incremento na MM nas plantas cultivadas em concentrações acima de 21 mmol L⁻¹ de NaCl no meio. Esse incremento está associado ao efeito das concentrações dos íons no tecido vegetal, já que houve redução do crescimento das plantas (Figura 1 A). Assim, os valores de MM aumentaram e conseqüentemente reduziram a MO, evidenciando os efeitos do estresse salino na *B. Brizantha* cv. MG5.

A redução dos teores de MO com o incremento das concentrações do NaCl, justifica-se pelo acúmulo de sais no tecido vegetal (Yadav et al., 2011; Shahzad et al., 2012), o que prejudicou o crescimento da planta.

Com o incremento das concentrações do NaCl e Si na solução observou-se redução nos valores de PB (Figura 1 C). O menor valor (85,10 g/kg MS) de PB foi com as concentrações 4 mmol L⁻¹ de Si no meio e 60 mmol L⁻¹ de NaCl, e o maior valor de 106,40 g/kg na MS nas plantas cultivadas sem estresse salino e Si (Figura 1 C).

A redução da PB pode ser justificada pelo maior incremento da senescência das plantas com salinidade, reduzindo, assim, o valor nutritivo da forragem. Trabalho

realizado por Campos et al. 2014 evidenciaram que altas doses de Si (0, 75, 150, 225, 300 mg dm⁻³) no solo reduziram o crescimento da *B. brizantha* cv. MG5 e os teores de nitrogênio total na parte aérea das plantas.

Apesar de a salinidade ter reduzido o teor de PB, os valores encontrados no presente trabalho estão acima do mínimo de 70,00 g/kg MS de proteína para a manutenção da população microbiana no rúmen (Van Soest, 1994), não prejudicando assim o crescimento dos microrganismos e consequentemente o desempenho dos animais.

Carloto et al. (2011) obtiveram resultados da PB na *Brachiaria brizantha* cv. MG5 em condições a campo, próximos ao encontrado no presente trabalho sem o incremento das concentrações de NaCl e Si, com valores 127,00; 112,00 e 103,00 g/kg MS para plantas com alturas de 15, 30 e 45 cm respectivamente.

A fibra em detergente neutro (FDN) aumentou em função das concentrações do Si até 48 mmol L⁻¹ de NaCl no meio (Figura 1 D). Acima dessa concentração de NaCl (48 mmol L⁻¹) houve redução da FDN em função do Si (Figura 1 D). Essa redução foi de 628,50 g/kg MS para 615,80 g/kg MS nas plantas cultivadas com 0 e 4 mmol L⁻¹ de Si no meio e 60 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 1 D).

A redução da FDN com o incremento do Si no meio em plantas cultivadas com 60 mmol L⁻¹ de NaCl não é relevante para alterar o valor nutritivo da forragem. A salinidade acelerou a senescência das plantas (Tabela 3) (Hasanuzzaman et al., 2013). A aceleração da senescência leva a lignificação dos tecidos de sustentação das plantas (Taiz e Zeiger, 2013) e a redução do teor de proteína (Figura 1 C), correlacionando com o incremento da FDN (Figura 1 D).

Com o aumento das concentrações do NaCl no meio houve redução do incremento da fibra em detergente ácido (FDA), sendo que o valor mínimo (279,80 g/kg MS) foi obtido com 14,89 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 1 E). A FDA aumentou em função do Si, e o maior valor (328,80 g/kg MS) foi obtido com a concentração 4 mmol L⁻¹ de Si (Figuras 1 E).

Os teores de FDA têm relação com os teores de lignina das forragens, a qual impede a aderência microbiana e a hidrólise enzimática da celulose e hemicelulose, indisponibilizando os carboidratos estruturais, potencialmente degradáveis, diminuindo a digestibilidade da fibra, a qualidade e o aproveitamento da forragem, o que reflete de maneira negativa na produção animal.

Os resultados encontrados no presente trabalho foram próximos aos de Costa et al. (2007), que obtiveram teores de FDA (340,00 g/kg MS) na *B. brizantha* cv. MG5 cultivada em condições sem estresse salino e adição de Si, com o intervalo de corte de 30 dias. As forragens com valores de FDA em torno de 300,00 g/kg MS ou menos, possibilitam maior consumo pelos animais, enquanto que aquelas com teores acima de 400 g/kg MS influenciam negativamente na ingestão (Berchielli et al., 2011). Dessa forma os valores encontrados no presente trabalho não prejudicariam o consumo dos animais a pasto, visto que o maior valor (328,80 g/kg MS) encontrado com 4 mmol L⁻¹ do Si e 0 mmol L⁻¹ do NaCl está abaixo do teor que influencia o consumo da forragem (Figura 1 E).

Com a elevação das concentrações do NaCl na solução, os teores de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) aumentaram até 15,23 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 1 F). O valor máximo encontrado com o aumento da salinidade foi 28,90 g/kg MS com a concentração de 15,23 mmol L⁻¹ NaCl, posteriormente teve redução dos teores de PIDN (Figura 1 F). Já em função do Si houve aumento dos valores de PIDN, o valor mínimo foi 25,10 g/kg MS com 1,89 mmol L⁻¹ de Si (Figura 1 F). O que esta relacionada à maior mobilização de N para as glicoproteínas estruturais com incremento do Si, mecanismo de proteção da parede celular.

O incremento da PIDN significa aumento do N em glicoproteínas estruturais de parede celular. As glicoproteínas estruturais estão relacionadas com o aumento da rigidez da parede celular (Raven et al., 2014), que pode estar associada à aceleração da senescência das plantas e ou à resposta fisiológica à condição de estresse salino. Somado a isso, o aumento da proteína estrutural de parede celular, reduz o aproveitamento da proteína total pelos animais.

A proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) reduziu em função das concentrações de NaCl até 32,71 mmol L⁻¹, seguido de aumento (Tabela 3). O valor mínimo obtido foi de 9,40 g/kg MS com 32,71 mmol L⁻¹ de NaCl (Tabela 3). Os valores de PIDN e PIDA estão correlacionados com o nitrogênio retido na fibra, o que o torna indisponível para ação microbiana.

Segundo e Terceiro Cortes

A produção de MSPA da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 foi maior no segundo e terceiro cortes em relação ao primeiro nas plantas que não foram submetidas ao estresse

salino. No primeiro corte, o crescimento da planta destina mais energia para a formação e estabelecimento da estrutura da parte aérea e do sistema radicular. No segundo e terceiro cortes, para o crescimento a planta tinha todo o sistema radicular formado, podendo destinar mais energia para a produção e manutenção da parte aérea.

No segundo e terceiro cortes o incremento da concentração de NaCl reduziu linearmente a produção da MSPA (Tabela 3), cujos valores mínimos foram 7,26 e 28,59 g/vaso, respectivamente, com 60 mmol L⁻¹ do NaCl (Tabela 3).

No segundo e terceiro embora a salinidade tenha reduzido o perfilhamento, a adição do Si nas plantas sob estresse minimizou os efeitos do NaCl. No segundo corte, as plantas cultivadas com 60 mmol L⁻¹ de NaCl na solução incrementaram o NP de 13 para 22 (Figura 2 A) e no terceiro corte de 9 para 34 perfilhos, quando incrementou a concentração de Si (Figura 2 B). A inclusão do Si aumenta o crescimento de muitas espécies de plantas através da atividade fotossintética, isso ocorre devido o Si proporcionar aumento da área foliar, o teor de clorofila e melhora a estrutura dos cloroplastos nas plantas em estresse salino (Hashemi et al., 2010; Lee et al., 2010; Tahir et al., 2012; Bae et al., 2012; Yin et al., 2013; Soundararajan et al., 2013; Haghghi e Pessarakli, 2013).

O número de folhas senescentes (NFS) alterou em função do Si e NaCl somente no terceiro corte (Figura 2 D). Com o incremento do NaCl na solução houve redução do NFS. Com o incremento do Si no meio minimizou o efeito deletério do NaCl sobre o NFS das plantas. Com 3,8 mmol L⁻¹ de Si no meio o incremento do NaCl não alterou o NFS das plantas (Figura 2 D). A redução do NFS em função da salinidade pode ter ocorrido por erro na coleta total das folhas em senescência.

As concentrações do Si e NaCl na solução não alteraram o NFS e NPF no segundo corte. Cujos valores médios foram 31 e 0,70 respectivamente. Já no terceiro corte as concentrações de Si e NaCl não alteraram o NPF.

A altura das plantas variou em função do Si e do NaCl na solução nutritiva somente no segundo corte (Figura 2 C). Com a salinidade houve redução das alturas das plantas. Todavia, com o incremento do Si no meio houve aumento na altura das plantas de 31,64 para 66,90 cm nas plantas cultivadas com 0 e 4 mmol L⁻¹ de Si, respectivamente, e 60 mmol L⁻¹ de NaCl. A redução na altura das plantas em função do estresse foi menos intensa quanto maior a concentração do Si no meio (Figura 2 C). Evidenciando o efeito do Si nas plantas em condições de estresse salino (Ashraf et al., 2010; Abdalla, 2011; Freitas et al., 2011; Ali et al., 2012; Mendonça et al., 2013). Já no

terceiro corte não houve alterações na altura das plantas em função das concentrações do Si e NaCl na solução, sendo a média de 52,87 cm.

O aumento na disponibilidade do Si tem resultado em incrementos no crescimento, uma vez que esse elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, alterando a arquitetura das plantas, evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência e protegendo as plantas do estresse salino (Epstein e Bloom, 2006; Ma e Yamaji, 2008; Abdalla, 2011).

De maneira geral, o Si minimizou os efeitos deletérios da salinidade no crescimento das plantas somente no segundo e terceiro cortes. As plantas sob estresse e supridas com Si tiveram melhor rebrota, em relação às plantas sem Si. Os mecanismos que explicam esse resultado estão relacionados com os aspectos bioquímicos, fisiológicos e fotossintéticos das plantas (Ashraf et al., 2010; Parveen e Ashraf, 2010; Abdalla, 2011; Ali et al., 2012; Mendonça et al., 2013), que podem ser melhor avaliados em futuros trabalhos.

No segundo e terceiro cortes os teores do Si na parte aérea da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 aumentaram em função das concentrações do NaCl e Si na solução (Figuras 2 E e F, respectivamente). O aumento dos teores de Si no tecido vegetal em função do NaCl no meio é devido ao efeito de concentração, já que houve redução do crescimento das plantas (Tabela 3).

No segundo corte o teor de matéria seca (MS) reduziu em função das concentrações do NaCl no meio (Tabela 3), sendo que o valor mínimo observado foi de 297,90 g/kg MN com a concentração de 60 mmol L⁻¹ NaCl, e o máximo foi de 333,30 g/kg MN sem salinidade, ou seja, houve uma redução de 10,62% no teor de MS com incremento do NaCl. Desta forma, as concentrações do NaCl influenciaram negativamente o desenvolvimento da planta, devido ao excesso dos íons Na⁺ e Cl⁻ nos cloroplastos da planta, restringindo a absorção da água.

Como consequência imediata desse déficit hídrico induzido pela salinidade, o crescimento das plantas torna-se mais lento, na tentativa de sobreviver em meio ao estresse (Munns, 2005; Rahimi et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013), além de reduzir a atividade fotossintética das plantas (Yadav et al., 2011; Huang et al., 2012; Shahzad et al., 2012; Ashraf e Harris, 2013).

No terceiro corte não houve ajuste do modelo matemático para o teor de MS em função das concentrações do Si e NaCl no meio, tendo sido observado um valor médio de 415,20 g/kg MN. As plantas sob estresse salino podem acumular solutos solúveis e

fechar os estômatos retendo água (Taiz e Zeiger, 2013), não alterando o teor de MS em função da salinidade.

O teor de MO reduziu em função das concentrações do NaCl na solução e aumentou em função do Si no segundo e terceiro cortes (Figura 3 A e B, respectivamente). A MM obteve incremento com aumento das concentrações do NaCl na solução nos segundo e terceiro cortes, (Figura 3 C e D). No segundo corte em função do Si, houve efeito quadrático (Figura 3 C). Nas plantas cultivadas sem NaCl, o maior valor (81,30 g/kg MS) de MM foi obtido com 4 mmol L⁻¹ de Si (Figura 3 C).

Plantas nutridas com Si apresentam maior eficiência na absorção dos íons (Epstein e Bloom, 2006; Moussa e Galad, 2015), resultando em maior MM. Em plantas sob estresse, o maior valor de MM foi obtido com 0 mmol L⁻¹ de Si. Plantas sob estresse salino e sem Si apresentaram acentuada redução do crescimento (Tabela 3), o que pode ter levado ao acúmulo de MM.

O teor de PB obteve ajuste quadrático em função do NaCl no segundo (Tabela 3) e terceiro cortes (Figuras 3 E). Os valores máximos (119,20 e 99,40 g/kg MS) foram obtidos com 37,84 e 44,38 mmol L⁻¹ de NaCl no segundo (Tabela 3) e terceiro corte respectivamente (Figuras 3 E). Também no terceiro corte houve ajuste quadrático do teor de PB em função do Si, com o maior valor (105,80 g/kg MS) obtido com 44,38 mmol L⁻¹ de NaCl e 1,95 mmol L⁻¹ de Si (Figura 3 E).

A concentração de 1,95 mmol L⁻¹ de Si no meio promoveu um incremento no teor de PB da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 (Figura 3 E). Mesmo o Si promovendo alteração nos valores da PB, esses não foram suficientes para alterar a composição químico-bromatológica. O incremento da PB em função do NaCl pode ser justificado pelo efeito de concentração, já que houve redução do crescimento das plantas (Tabela 3 e Figura 3 E). As plantas reduziram o crescimento, assim, teve um maior relação folha:caule e, portanto, mais proteína. Um comportamento inverso ao do primeiro corte.

No terceiro corte foi obtido o menor valor (53,25 g/kg MS) o teor de PB, mesmo sem NaCl e Si na solução, em relação aos dois primeiros cortes. Os maiores valores observados para PB nos tratamentos onde a forragem foi colhida em estágio vegetativo inicial deve-se à maior relação entre folha:caule, já que as folhas apresentam maior valor nutricional. Dessa forma, as mudanças que ocorrem na composição das plantas forrageiras são decorrentes da maturidade, reduzindo o valor nutritivo com o aumento da idade, resultando da menor relação folha:caule combinada com a crescente lignificação da parede celular.

Nos teores de FDN para o segundo corte houve efeito linear decrescente com as concentrações crescentes do NaCl, sendo que o menor valor (548,00 g/kg MS) foi obtido com 60 mmol L⁻¹ de NaCl (Figura 4 A). Houve incremento do teor de FDN em função do Si, no entanto, este aumento não foi relevante para alterar essa variável, já que os valores variaram de 651,30 g/kg MS para 651,60 g/kg MS com 0 e 4 mmol L⁻¹ de Si (Figura 4 A) respectivamente. No terceiro corte houve redução da FDN em função do NaCl e Si, o menor valor foi 567,10 g/kg MS com 60 mmol L⁻¹ de NaCl e 4 mmol L⁻¹ de Si (Figura 4 B).

A redução nos valores de FDN com o incremento do NaCl esta em função do menor crescimento vegetativo da forragem nas condições de estresse, como confirmado nas variáveis de crescimento (Tabela 3), assim ocorrendo menor expansão das células, consequentemente, reduzindo os constituintes da parede celular.

A FDN representa a fração química da forrageira que se correlaciona mais estreitamente com o consumo voluntário dos animais, sendo que valores acima de 550,00 a 600,00 g/kg MS correlacionam-se de maneira negativa (Van Soest, 1965), pois a saciedade passa a ser regulada por limitação física. No presente trabalho, os valores de FDN encontrados estiveram sempre acima do valor crítico de 550,00 g/kg MS e, portanto, o consumo voluntário das forrageiras em pastejo poderia ser limitado no caso de uma pressão de pastejo alta, que reduziria a seletividade dos bovinos.

Os teores da FDA reduziram em função do NaCl na solução. No segundo corte o valor mínimo foi de 250,00 g/kg MS com 50,54 mmol L⁻¹ de NaCl (Figuras 4 C). Entretanto, com o incremento do Si houve aumento da FDA, o maior valor foi de 338,60 g/kg MS com 4 mmol L⁻¹ de Si (Figura 4 C). No terceiro corte a FDA reduziu em função do NaCl na solução, com o menor valor (306,40 g/kg MS) obtido com 60 mmol L⁻¹ de NaCl. Com o aumento nas concentrações do Si observou-se efeito quadrático, cujo valor mínimo foi de 368,00 g/kg MS, obtido com 1,92 mmol L⁻¹ de Si (Figura 4 D).

No segundo corte, houve aumento dos teores de PIDN na parte aérea da *B. brizantha* cv. MG5 em função do Si (Tabela 3). O valor máximo de PIDN (29,60 g/kg MS) foi obtido com 4,0 mmol L⁻¹ de Si (Tabela 3). Quanto maiores os valores da PIDN e PIDA, menor será a degradação da PB pelos microrganismos ruminais (Reis et al., 2013), uma vez que parte da PB está indisponível pela associação com fibra.

No terceiro corte as concentrações de NaCl aumentaram os teores de PIDN, sendo que o maior valor foi de 27,60 g/kg MS com 60 mmol L⁻¹ de NaCl (Tabela 3). O

incremento da PIDN está relacionado aumento do N em glicoproteínas estruturais da parede celular, que é uma resposta fisiológica à condição de estresse salino. Somado a isso, o aumento da proteína estrutural da parede celular reduz o aproveitamento da proteína total pelos animais.

Os valores de PIDA no segundo corte aumentou em função do Si (Tabela 3). O valor máximo de PIDA (8,40 g/kg MS) foi obtido com 2,56 mmol L⁻¹ de Si. No terceiro corte o teor de PIDA aumentou com as concentrações de NaCl e Si (Figura 4 E). A concentração do NaCl que propiciou o valor máximo da PIDA foi 44,64 mmol L⁻¹.

A proteína bruta é classificada em cinco frações: a fração A é nitrogênio não proteico (NNP), prontamente solúvel; as frações B1, B2 e B3, que são teores de proteína verdadeira com velocidades de degradação rápida, intermediária e lenta, respectivamente; e quinta fração, denominada C, é considerada indegradável, a qual é representada pelo PIDA (Sniffen et al., 1992). Quanto maior o PIDA menor o aproveitamento da PB pelos microrganismos ruminais. Dessa forma, mesmo com o incremento do teor de PB (Tabela 3; Figura 3 E) na parte aérea da *B. brizantha* cv. MG5 com o NaCl parte constituía a parede celular como PIDN e PIDA tornando-se indisponível para ação dos microrganismos ruminais.

CONCLUSÕES

A concentração de 4,0 mmol L⁻¹ de silício mitigou os efeitos deletérios do cloreto de sódio na rebrota da *B. brizantha* cv. MG5 com avanço da idade da planta, melhorando o crescimento. Entretanto, os níveis de silício estudados não foram suficientes para apresentar resultados satisfatórios em relação à redução do estresse salino quanto à qualidade e produção da massa de forragem da *B. brizantha* cv. MG5.

REFERÊNCIAS

Abdalla MM. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agric. Biol. J. N. Am.* 2011;2:207-220.

Ali A, Basra SMA, Hussain S, Iqbal J. Increased growth and changes in wheat mineral composition through calcium silicate fertilization under normal and saline field conditions. *Chil. J. Agric. Res.* 2012;72:98-103.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 15th Edition, Arlington:1990.

Ashraf M, Harris PJC. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 2013;51:163-190. DOI: 10.1007/s11099-013-0021-6.

Ashraf M, Rahmatullah M, Afzal R, Ahmed F, Mujeeb A, Sarwar L. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plan. Soil.* 2010;326:381-391. DOI 10.1007/s11104-009-0019-9.

Atabayeva S, Nurmahanova A, Minocha S, Ahmetova A. The effect of salinity on growth and anatomical attributes of barley seedling (*Hordeum vulgare* L.). *African J Biotechnol.* 2013;12:2366-2377. DOI: 10.5897/AJB2013.12161.

Bae EJ, Lee KS, Huh MR, Lim CS. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Hort. Environ. Biotechnol.* 2012;53:477-483. DOI 10.1007/s13580-012-0094-3.

Balakhnina T, Borkowska A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Int. Agrophys.* 2013;27:225-232. Doi: 10.2478/v10247-012-0089-4.

Berchielli TT, Pires AV, Oliveira SG. *Nutrição de Ruminantes*. 2ed. Jaboticabal:Funep, 2011. 616p.

Bezerra Neto E, Barreto L. *Análises químicas e bioquímicas em plantas*. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 261p.

Campos OHG, Lizzi JB, Santos MP, Melo SP. Silício e nitrogênio no estabelecimento da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. *Synergismus scyentifica*. 2014;9:1-6.

Carloto MN, Euclides VPB, Montagner DB, Lempp B, Difante GS, Paula CCL. Desempenho animal e características de pastos de capim-xaraés sob diferentes intensidades de pastejo, durante o período das águas. *Pesq. agropec. Bras.* 2011;46:97-104.

Carvalho CAB, Peres AAC, Premazzi LM, Malafaia P, Carvalho MIAB, Paciullo DSC, Costa VAC. Performance of dairy heifers raised on Xaraés palissadgrass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) pasture supplemented with two types of mineral mixture. *Pesq. Vet. Bras.* 2014;34:46-50.

Cornelis JT, Delvaux B, Georg RB, Lucas Y, Ranger J, Opfergelt S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. *Biogeosciences.* 2011;8:89-112. Doi:10.5194/bg-8-89-2011.

Costa KAP, Oliveira IP, Faquin V, Neves BP, Rodrigues C, Sampaio FMT. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. *Ciênc. agrotec.* 2007;31:1197-1202.

Costa KAP, Severiano EC, Silva FG, Borges EF, Epifânio PS, Guimarães KC. Doses and sources of nitrogen on yield and bromatological composition of Xaraés grass. *Ciênc. Ani. Bras.* 2013;14:288-298.

Detmann E, Valadares Filho SC, Berchielli TT, Cabral LS, Ladeira MM, Souza MA, Queiroz AC, Saliba EOS, Pina DS, Azevedo JAG. Métodos para análise de alimentos. Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

Dolatabadian A, Modarres Sanavy SAM, Ghanati F. Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. *Not. Sci. Biol.* 2011;3:41-45.

Dulai S, Molnár I, Láng MM. Changes of photosynthetic parameters in wheat/barley introgression lines during salt stress. *Acta Biol. Szeged.* 2011;55:73-75.

Epstein E, Bloom A. *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas.* 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

Ferraz JBS, Felício PE. Production systems-An example from Brazil. *Meat Science.* 2010;84:238-243. Doi:10.1016/j.meatsci.2009.06.006.

Freitas LB, Coelho EM, Maia SCM, Silva TRB. Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Rev. Ceres.* 2011;58:262-267.

Haghighi M, Pessarakli M. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scien. Horticu.* 2013;161:111-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034>

Hasanuzzaman M, Nahar K, Fujita M. Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. In: AHMAD, P. et al. (eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress.* 2013;25-87. DOI 10.1007/978-1-4614-4747-4_2.

Hashemi A, Abdolzadeh A, Sadeghipour HR. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Sci. Plant Nut.* 2010;56:244-253. Doi: 10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x.

Hoagland DR, Arnold DI. The water culture method of growing plants without soil. California Agriculture Experimental Station, p.1-32, 1950. (Circular 347).

Huang Z, Longa X, Wanga L, Kanga J, Zhang Z, Zedeb R, Liu Z. Growth, photosynthesis and H⁺-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl-induced stress. Proc. Bio. 2012;47:591-596. Doi:10.1016/j.procbio.2011.12.016

Jayakannan M, Bose J, Babourina O, Shabala S, Massart A, Poschenrieder C, Rengel Z. The NPR1-dependent salicylic acid signalling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in Arabidopsis. Jour. Exp. Bot. 2015. Doi:10.1093/jxb/eru528.

Klancnik K, Mikuš KV, Gaberščik A. Silicified structures affect leaf optical properties in grasses and sedge. Jour. Phot. Biol. 2014;130:1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.10.011>.

Lee SK, Sohn EY, Hamayun M, Yoon JY, Lee IJ. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. Agrof. Syst. 2010;80:333-340.

Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H, Song A. Silicon in Agriculture. In: Silicon Uptake and Transport in Plants: Physiological and Molecular Aspects. Springer Science. 2015a;69-82. DOI 10.1007/978-94-017-9978-2_4.

Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H, Song A. Silicon in Agriculture. In: Silicon-Mediated Tolerance to Salt Stress. Springer Science. 2015b;123-142. DOI 10.1007/978-94-017-9978-2_6.

Liang Y, Sun W, Zhu Y, Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environ. Pollut. 2007;147:422-428. Doi:10.1016/j.envpol.2006.06.008.

Lobato AKS, Guedes EMS, Marques DJ, Oliveira Neto, CF. Silicon: A benefic element to improve tolerance in plants exposed to water deficiency. Agr. Bio. Sci. 2013;16:95-113. <http://dx.doi.org/10.5772/53765>.

Ma JF, Yamaji N. A cooperated system of silicon transport in plants. Trends Plant Sci. 2015;1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>.

Ma JF, Yamaji N. Functions and transport of silicon in plants. Cell. Mol. Life Sci. 2008;65:3049-3057. DOI 10.1007/s00018-008-7580-x.

Ma JF, Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends. Plant Sci. 2006;11:292-297. Doi:10.1016/j.tplants.2006.06.007.

Manai J, Kalai T, Gouia HF, Corpas J. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. J. Soil Sci. Plan. Nutr. 2014;14:433-446.

Martins LEC, Monteiro FA, Pedreira BC. Photosynthesis and Leaf Area of *Brachiaria brizantha* in Response to Phosphorus and Zinc Nutrition. Jour. P. nut. 2014;28:1-26. DOI: 10.1080/01904167.2014.939758.

Mateos-Naranjo E, Andrades-Moreno L, DAVY AJ. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. Plant Physiol. Bioch. 2013;63:115-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.015>.

Melo SP, Monteiro FA, Bona FD. Silicon distribution and accumulation in shoot tissue of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*. Plant Soil. 2010;336:241-249. DOI 10.1007/s11104-010-0472-5.

Mendonça AO, Tavares LC, Brunes AP, Monzón DLR, Villela FA. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. Biosc. Jour. 2013;29:1154-1162.

Moussa HR, Galad MAR. Comparative Response of Salt Tolerant and Salt Sensitive Maize (*Zea mays* L.) Cultivars to Silicon. Eur. Jour. Acad. Es. 2015;2:1-5.

Munns R. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 2005;167:645-663. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x.

Musco A, Panuccio MR, Sidari M. Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Plant Sci. 2003;164:1103-1110. Doi:10.1016/S0168-9452(03)00119-5.

Ola HAE, Reham EF, Eisa SS, Habib AS. Morpho-anatomical changes in salt stressed kallar grass (*Leptochloa fusca* L. Kunth). Res. J. Agric. Biol. Sci. 2012;8:158-166.

Oliveira AB, Alencar NLM, Prisco JT, Gomes-Filho E. Accumulation of organic and inorganic solutes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged and primed seeds. Scien. Agr. 2011;68:632-637.

Parida AK, Das BA. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecot. Environ. Saf. 2005;60:324-349. Doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010.

Parveen N, Ashraf M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pak. J. Bot. 2010;42:1675-1684.

Qados AMSA, Moftah AE. Influence of Silicon and Nano-Silicon on Germination, Growth and Yield of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Under Salt Stress Conditions. AJEA. 2015;6:p.509-524. DOI: 10.9734/AJEA/2015/14109.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2014.

Rahimi R, Mohammakhani A, Roohi V, Armand N. Effects of salt stress and silicon nutrition on chlorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Intl. J. Agri. Crop. Sci. 2012;4:1591-1595.

Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE. *Biologia vegetal*. 8ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 1637p.

Reis GL, Lana ÂMQ, Emerenciano Neto JV, Lemos Filho JP, Borges I, Longo RM. Produção e composição bromatológica do capim-marandu, sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Biosci. J.* 2013;29:1606-1615.

Rohanipoor A, Norouzi M, Moezzi A, Hassibi P. Effect of Silicon on Some Physiological Properties of Maize (*Zea mays*) under Salt Stress. *J. Bio. Env. Sci.* 2013;7:71-79.

Shahzad M, Witzel K, Zorb C, Muhling KH. Growth-Related Changes in Subcellular Ion Patterns in Maize Leaves (*Zea mays* L.) under Salt Stress. *J. Agr. Crop. Sci.* 2012;198:46-56. Doi:10.1111/j.1439-037X.2011.00487.x.

Sigmaplot, V.11.0. Systat Software Inc., Point Richmond, California. 2008.

Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 1992;70:3562-3577.

Soundararajan P, Sivanesan I, Jo EH, Jeong BR. Silicon Promotes Shoot Proliferation and Shoot Growth of *Salvia splendens* under Salt Stress in Vitro. *Hort. Environ. Biotechnol.* 2013;54:311-318. DOI 10.1007/s13580-013-0118-7.

Tahir MA, Aziz T, Farooq M, Sarwar G. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2012;58:247-56. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2010.518959>.

Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

Tamele OH. Manejo de híbridos de sorgo e cultivares de milho em sistema de pastejo rotativo. [dissertação]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; 2009.

Van Soest PJ. *Nutritional ecology of the ruminants*. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.

Van Soest PJ. Symposium on Factors Influencing the Voluntary Intake of Herbage by Ruminants: Voluntary Intake in Relation to Chemical Composition and Digestibility. *J. Ani. Sci.* 1965;24:834-843.

Yadav S, Irfan M, Ahmad A, Hayat S. Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review. *J. Env. Biol.* 2011;32:667-685.

Yin L, Wang S, Li J, Tanaka K, Oka M. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiol Plant.* 2013;35:1-9. DOI 10.1007/s11738-013-1343-5.

Zhani K, Mariem BF, Fardaous M, Cherif H. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). J. Stress Phy. Bio. 2012;8:236-252.

TABELA 3. Crescimento e composição químico-bromatológica (g/kg MS) da *Brachiaria Brizantha* cv. MG5 em função das concentrações isoladas do NaCl ou Si na solução nutritiva

Variáveis ^a	Equação	R ² (%) ^b
	Primeiro corte	
NP	$\hat{y} = 15,7636 - 0,0604\text{NaCl}$	70,28
NPF	$\hat{y} = 1,13327 + 0,02765\text{NaCl}$	90,76
NFS	$\hat{y} = 11,9117 + 0,3748\text{NaCl} - 0,004983\text{NaCl}^2$	99,16
MS (g/kg MN)	$\hat{y} = 314,824 - 17,673\text{Si} + 3,335\text{Si}^2$	74,42
MO	$\hat{y} = 901,3593 + 0,7854\text{NaCl} - 0,0187\text{NaCl}^2$	94,16
MM	$\hat{y} = 98,6407 - 0,7854\text{NaCl} + 0,0187\text{NaCl}^2$	94,16
PIDA	$\hat{y} = 11,686 - 0,1383\text{NaCl} + 0,002114\text{NaCl}^2$	100,00
	Segundo corte	
MSPA (g/vaso)	$\hat{y} = 44,9853 - 0,6286\text{NaCl}$	91,97
MS (g/kg MN)	$\hat{y} = 333,2711 - 0,5894\text{NaCl}$	98,69
PB	$\hat{y} = 79,9209 + 2,0737\text{NaCl} - 0,0274\text{NaCl}^2$	88,82
PIDN	$\hat{y} = 24,206 + 1,352\text{Si}$	81,10
PIDA	$\hat{y} = 6,450 + 1,482\text{Si} - 0,2891\text{Si}^2$	94,34
	Terceiro corte	
MSPA (g/vaso)	$\hat{y} = 81,9051 - 0,8887\text{NaCl}$	95,80
PIDN	$\hat{y} = 19,3853 + 0,1364\text{NaCl}$	79,39

^a NP, número de perfilhos; NPF, número de pendões florais; NFS, número de folhas senescentes MS, matéria seca; MO, matéria orgânica; MM, matéria mineral; PB, proteína bruta; PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA, proteína insolúvel em detergente ácido; MSPA, massa seca da parte área.

^b Coeficiente de determinação, significância $P < 0,05$.

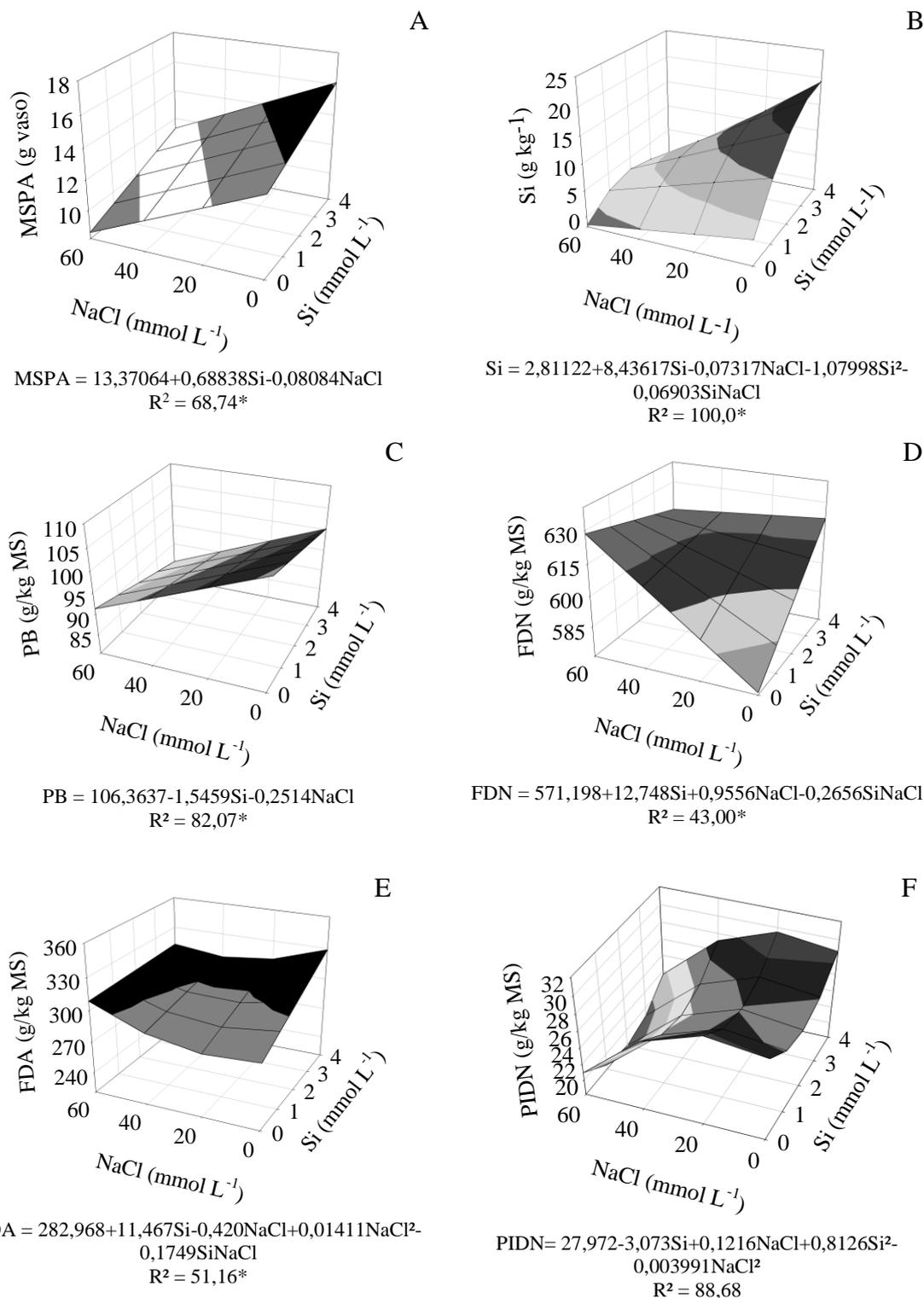


FIGURA 1. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA), teores de Si, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) na parte aérea da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no primeiro corte.

*Significância $p < 0,05$.

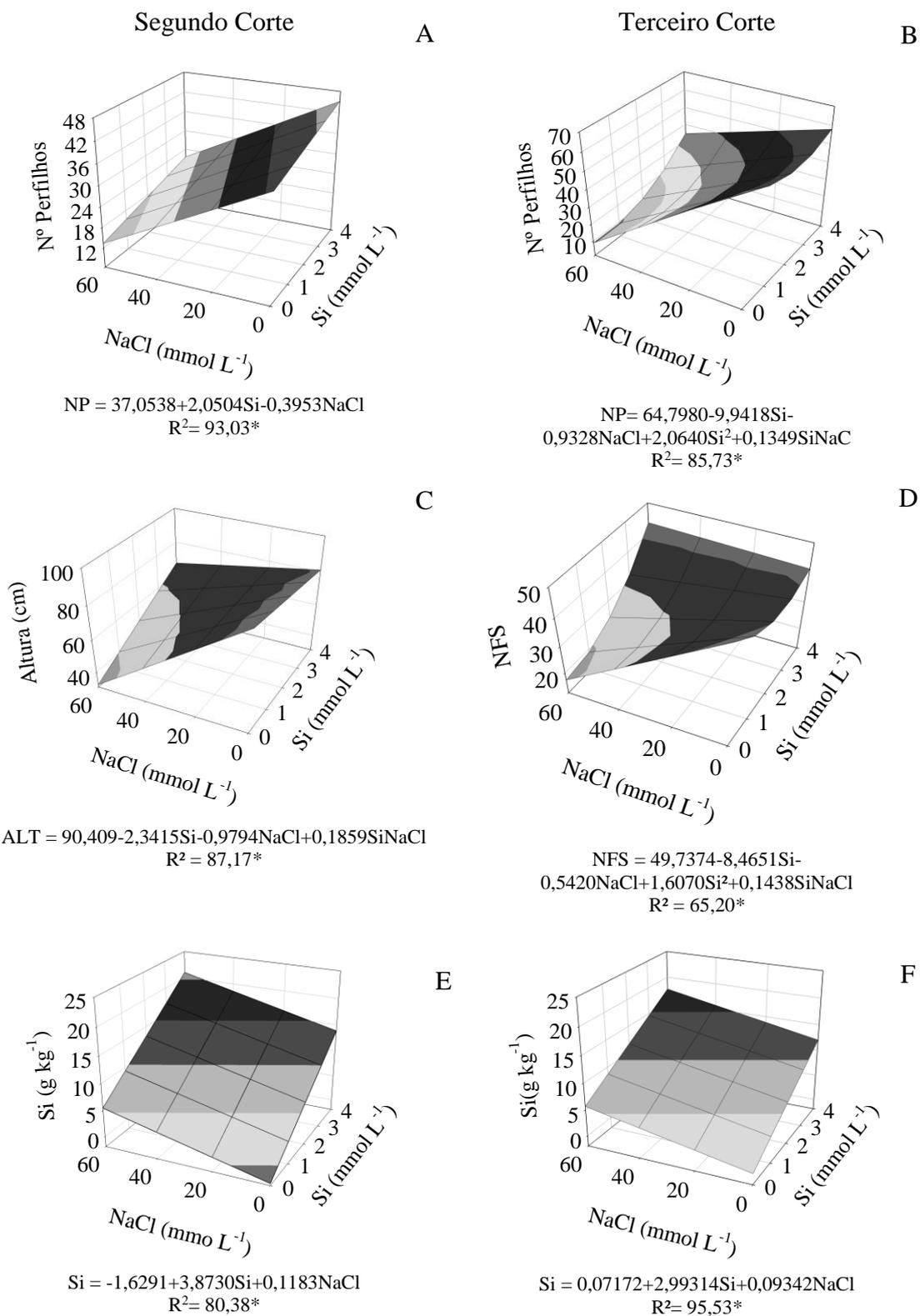


FIGURA 2. Número de perfilhos (NP), altura, número de folhas senescente (NFS) e teores de Si na parte aérea da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.

*Significância $p < 0,05$.

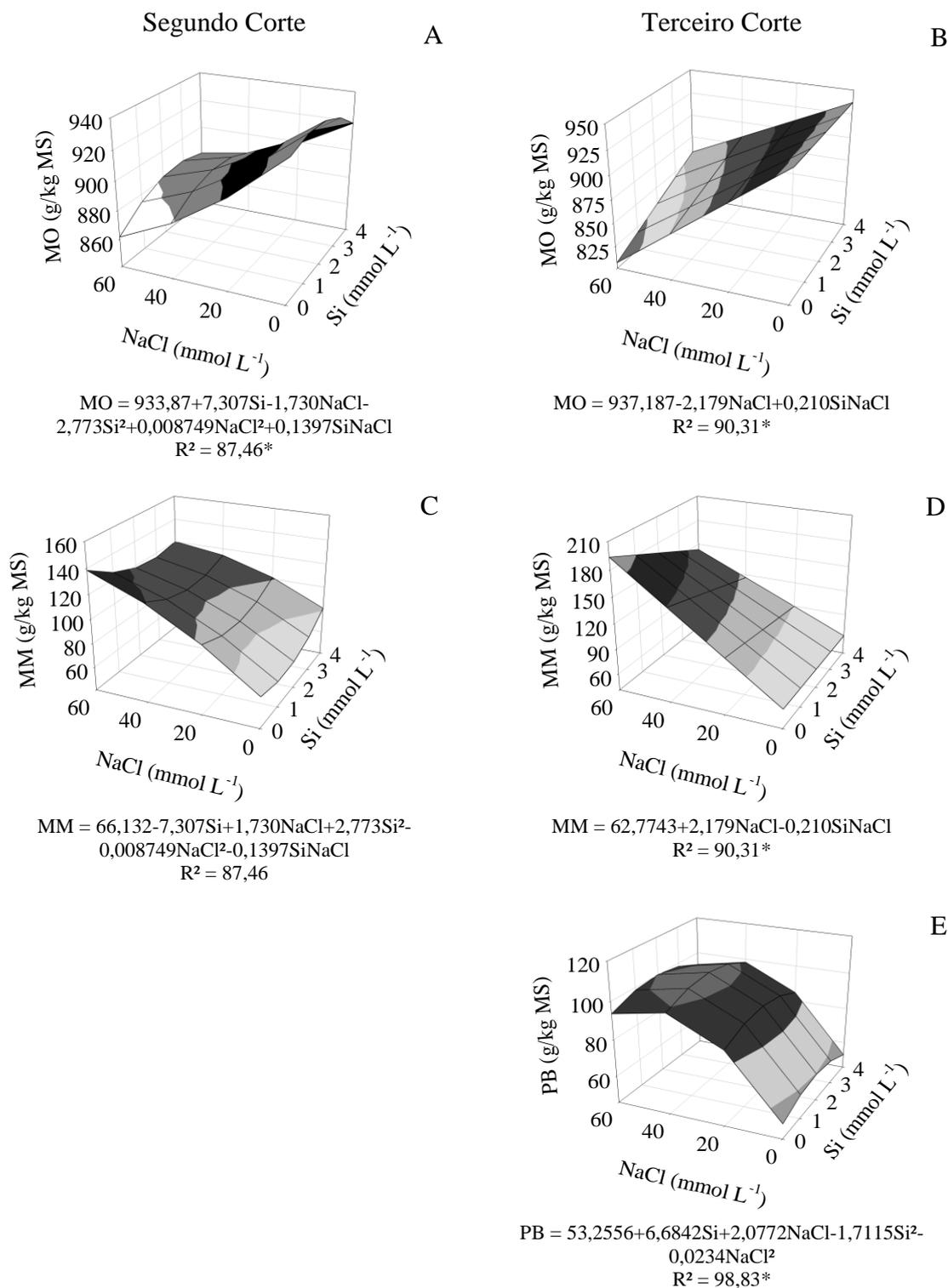


FIGURA 3. Matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) na parte aérea da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.

*Significância $p < 0,05$.

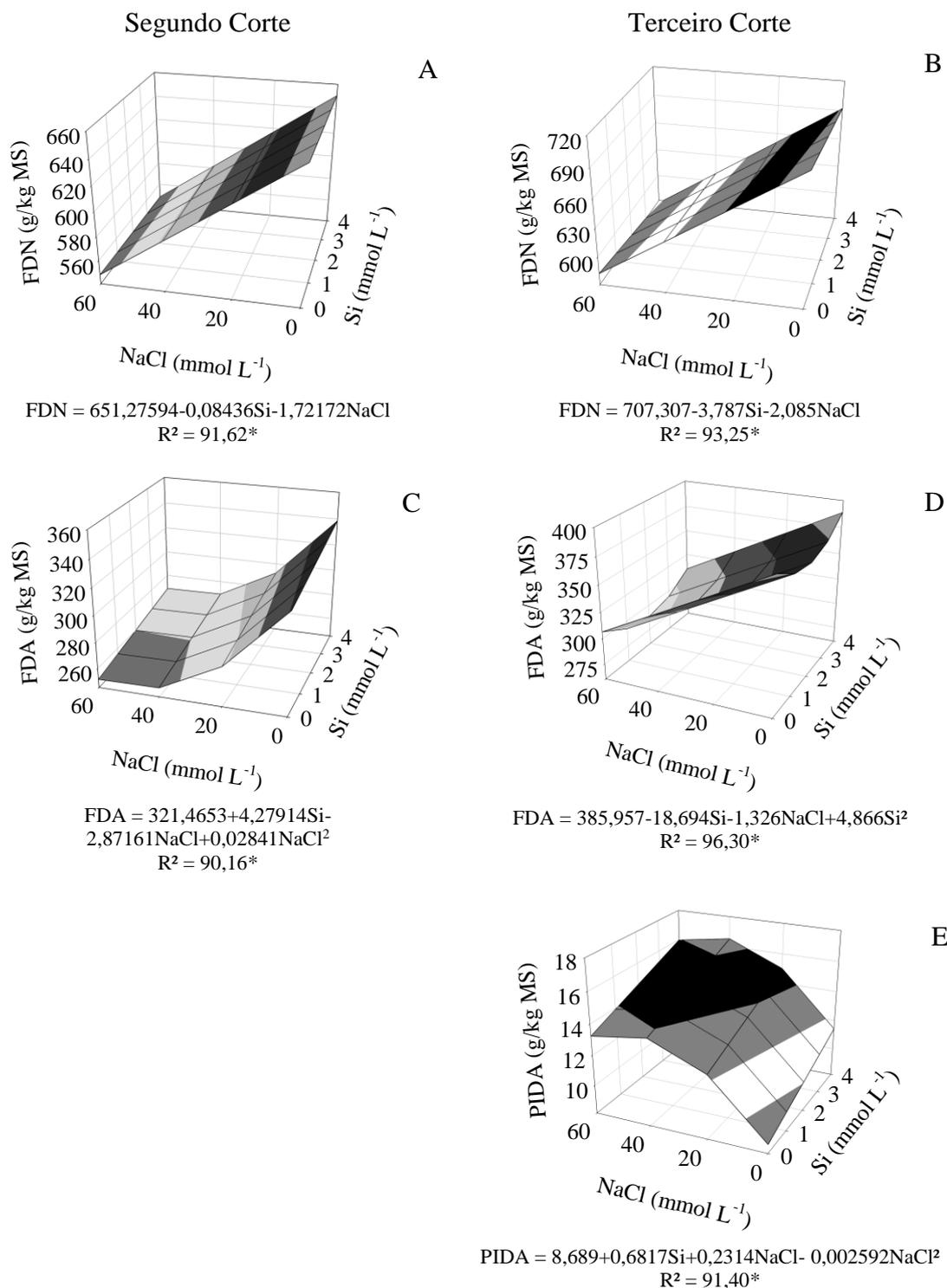


FIGURA 4. Fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) na parte aérea da *Brachiaria brizantha* cv. MG5 sob concentrações de Si e NaCl na solução nutritiva no segundo e terceiro corte.

*Significância $p < 0,05$.

APÊNDICE

APÊNDICE A – TABELA

TABELA 1. Volume da solução estoque necessário para a produção de 1 L de solução de cultivo para as diferentes concentrações de Si.

Reagentes	[] ¹	Concentrações de Si				
		0	1	2	3	4
KNO ₃	1,0	5,00	4,26	3,52	2,77	2,03
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1,0	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
MgSO ₄ .7H ₂ O	1,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
KH ₂ PO ₄	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
HNO ₃	1,0	-	0,74	1,48	2,23	3,97
K ₂ SiO ₃	K	4,5 ²				
	Si	6,1 ²	-	0,16	0,33	0,49
	NaCl	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Solução Micro ³	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fe-EDTA ⁴	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

¹Concentração da Solução Estoque em mol L⁻¹.

²Concentração em mol L⁻¹ de K e Si na solução comercial de metasilicato de potássio – K₂SiO₃ (171 g Si L⁻¹; 210 g K₂O L⁻¹; pH = 12 e d = 1,4 g cm⁻³).

³Solução coquetel completa de micronutrientes: foi dissolvido separadamente 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,22 g ZnSO₄.7H₂O; 0,08 g CuSO₄.5H₂O e 0,02 g H₂MoO₄.H₂O. Após, misturar e completar o volume para 1000 mL.

⁴Solução Fe-EDTA: (a) Solução A - dissolver 33,3 g de Na₂-EDTA em 500 mL de água destilada a 30°C contendo 100,4 mL de NaOH a 1 molc L⁻¹; (b) Solução B - dissolver 24,9 g de FeSO₄.7H₂O em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl a 1 molc L⁻¹. Misturar as soluções A e B, completar o volume para 1000 mL com água destilada e colocar sob aeração constante por 12h. A solução foi acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

ANEXO 1

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

1. Política Editorial

A Revista Brasileira de Ciência do Solo (R. Bras. Ci. Solo) é um periódico editado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) para divulgar contribuições originais e significativas sobre os novos conhecimentos nas seguintes áreas: Solo no Espaço e no Tempo (Gênese e Morfologia do solo; Levantamento e Classificação do solo; Pedometria), Processos e Propriedades do Solo (Biologia; Física; Mineralogia e Química do solo), Uso e Manejo do solo (Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas; Corretivos e Fertilizantes; Manejo e Conservação do solo e da água; Planejamento de Uso da Terra, Poluição; Remediação do solo e Recuperação de áreas degradadas) e Solo, Ambiente e Sociedade (Educação em solos e Percepção pública do solo; Solos e Segurança alimentar; História, Epistemologia e Sociologia da Ciência do solo). A R. Bras. Ci. Solo publica artigos científicos, notas científicas, revisões de literatura e cartas ao Editor.

O manuscrito submetido à publicação é, inicialmente, avaliado pelo Editor Técnico quanto ao escopo, à adequação às normas da revista e à qualidade de quadros e figuras. Se for julgado adequado o Editor designa um Editor Assistente da área pertinente e o manuscrito é encaminhado a três revisores especialistas da área. Com base nos pareceres de pelo menos dois revisores e sua própria análise, o Editor Assistente recomenda o aceite ou a rejeição do manuscrito. Compete ao Editor Chefe coordenar as atividades dos Editores Assistentes e revisores e manter um canal de comunicação com os autores. Durante todo o processo é preservada a identidade do Editor Assistente, Revisores e Autores.

Não são aceitos pedidos de reconsideração de pareceres não favoráveis à publicação, nem a solicitação de avaliação por outros Revisores e Editor Assistente.

O artigo publicado torna-se propriedade da R. Bras. Ci. Solo e será disponibilizado com acesso livre e irrestrito nos sites: SBCS (www.sbcs.org.br), SciElo (www.scielo.br) e Redalyc (www.redalyc.org) ou em outras bases de dados que a R. Bras. Ci. Solo seja futuramente indexada. Permite-se a reprodução total ou parcial dos trabalhos, desde que indicada explicitamente a fonte.

Os conceitos emitidos nos artigos, notas, revisões ou cartas são de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do Corpo Editorial da R. Bras. Ci. Solo ou da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

2. Informações gerais

2.1 Tipos de manuscritos:

Aceitam-se manuscritos escritos em português ou inglês, redigidos seguindo as normas para redação de trabalhos científicos e que não foram submetidos ou publicados em outra revista, conforme declarado pelos autores. Excetuam-se aqueles cujo conteúdo tenha sido apresentado em congressos na forma de resumo ou resumo expandido. Para manuscritos em inglês, recomenda-se que o texto seja revisado por profissional fluente em inglês e familiarizado com terminologia e textos científicos.

A subdivisão de trabalhos em parte (I, II, ...) deve ser evitada, mas se necessário, os manuscritos devem ser submetidos em sequência e deve-se fazer menção às partes nas cartas de apresentações dos manuscritos.

Artigo Científico: Manuscrito fundamentado em uma hipótese científica original e ainda não esclarecida, que é validada, ou não, por meio de experimentação e, ou modelos teóricos, fundamentados no método científico consagrado, com adequado planejamento estatístico e discussão com adequada argumentação científica. Ele entra no mérito científico de um problema para o qual se procura uma solução, que é parcial ou totalmente apresentada. As comparações de métodos, de variedades, de tipos de manejo, etc. adequarão, excepcionalmente, à categoria de artigo científico apenas quando apresentarem base e, ou, justificativas científicas bem argumentadas e discutidas. O texto deve ter no máximo 25 páginas, incluindo figuras, quadros e referências.

Nota científica: Categoria de manuscrito científico que descreve uma técnica, um aparelho, uma nova espécie ou observações e levantamentos de dados limitados a experimentos não repetíveis ou outras situações únicas. É, em geral, mais curta que o artigo científico, não precisando obedecer a estrutura clássica, mas deve obedecer ao mesmo rigor científico do Artigo Científico e tem o mesmo valor como publicação. Deve conter no máximo 15 páginas, incluindo figuras, quadros e referências.

Revisão de Literatura: A revisão além de apresentar o estado do conhecimento a respeito de um tema específico, deve ter um caráter analítico e crítico. O texto deve ter no máximo 40 páginas, incluindo figuras, quadros e referências.

Carta ao Editor: Deve conter: comunicação de matéria relevante ligada à Ciência do Solo ou comentário crítico de trabalhos publicados na R. Bras. Ci. Solo. Nessa circunstância será concedido o direito de contra argumentar aos autores. O manuscrito deve ter no máximo duas páginas.

3. Submissão manuscritos

A submissão do manuscrito será por meio eletrônico utilizando os links disponíveis no site da SBCS (www.sbcs.org.br) ou na página da R. Bras. Ci. Solo no SciElo (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-0683&lng=en&nrm=iso).

Para a submissão requer-se uma carta de apresentação do manuscrito (cover letter) na qual se destaca a relevância dos resultados para o ganho de conhecimentos e argumentos que justifiquem a adequação do manuscrito ao escopo da R. Bras. Ci. Solo. Solicita-se, ainda, que os autores indiquem três potenciais revisores para o manuscrito, com os respectivos endereços eletrônicos. No entanto, o Editor se reserva o direito de encaminhar ou não o manuscrito aos revisores indicados.

3.1 Preparo do manuscrito

O manuscrito deve ser digitado com fonte “Times New Roman 12” no espaço 1,5, alinhado à esquerda (não justificar com alinhamento à esquerda e à direita), com página em tamanho A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda. As páginas devem ser numeradas no canto inferior à direita e as linhas do texto devem ser numeradas de forma contínua. O título de cada seção deve ser escrito em letras maiúsculas, em negrito. Subdivisões devem ter apenas a primeira letra maiúscula, com destaque em negrito.

O manuscrito deve ser estruturado com as seções: Resumo, Abstract (obrigatórios), Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão ou (preferencialmente) Resultado, Discussão, Conclusões, Agradecimentos (opcional) e Referências. Essa estrutura não se aplica, obrigatoriamente, aos manuscritos sobre Educação, Revisões de Literatura e Notas Científicas, embora estes devam conter, obrigatoriamente, o Resumo e o Abstract. O manuscrito submetido em inglês deve conter Resumo em português e aquele submetido em português deve conter o Abstract em inglês.

O manuscrito deve conter uma página de rosto com o título, nomes dos autores por extenso com a indicação da formação profissional, o vínculo profissional e o endereço eletrônico. O autor correspondente deverá ser marcado por um asterisco e o número de telefone para contato deve ser indicado. Devem-se incluir ainda chamadas que serão vinculadas ao título do manuscrito. A primeira página do manuscrito deve conter o título seguido imediatamente do texto de acordo com as seções.

3.2 Seções dos manuscritos

Título: Deve ser conciso e indicar o seu conteúdo, contendo no máximo 20 palavras escritas em letras maiúsculas e alinhado à esquerda (não justificar com alinhamento à esquerda e à direita).

Resumo/Abstract: Para artigos científicos e revisões de literatura, cada um deve conter até 400 palavras e, para notas científicas, até 150 palavras. Todos os resumos e abstracts devem iniciar com uma breve frase que justifique o trabalho. Para artigos e notas científicas, deve-se apresentar de forma objetiva o material e método e os resultados mais importantes e conclusões. Não se devem incluir citações bibliográficas e símbolos ou siglas que requeiram a leitura do texto para sua decodificação.

Palavras-chave/Keywords: Usar no mínimo três e no máximo cinco termos diferentes daqueles constantes no título. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras.

Introdução: Deve ser breve, mas suficiente para esclarecer o problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e atualizada, e finalizar com a indicação do objetivo.

Material e Métodos: Deve conter informações necessárias e suficientes para percepção dos resultados e que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores. Deve conter informações sobre o(s) método(s) utilizados, o delineamento experimental, os tratamentos, números de repetições, unidades experimentais (número e tamanho) e os métodos estatísticos utilizados.

Resultados e Discussão: Deve conter uma apresentação concisa dos dados obtidos e podem ser apresentados conjuntamente ou, preferencialmente, em separado. Se

apresentados em separado, a Discussão não deve conter repetição da descrição dos resultados.

Conclusões: Devem ser concisas e coerentes com os objetivos e com os dados apresentados no trabalho.

Agradecimentos: Opcionais. Devem ser sucintos e localizados após as conclusões. Incluem-se nesta seção as indicações de suporte financeiro ao projeto de pesquisa do qual originou o trabalho.

Quadros: Devem ser numerados sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer acima do quadro e deve conter os elementos que possibilite a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Os quadros devem ser produzidos com a ferramenta "Tabela" do MS Word ou MS Excel, ou softwares equivalentes. Utilizar a fonte Times New Roman com tamanho não maior que 10. As unidades são colocadas no corpo do quadro, na linha acima dos valores numéricos. No corpo do quadro não devem aparecer linhas verticais e horizontais. Os quadros devem ser inseridos no formato editável (illustrator/eps/corel draw/jnb/excel, doc ou docx etc.), após as Referências, com quebra de página. Não serão aceitos manuscritos contendo quadros inseridos como imagem.

Figuras gráficas: Devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer abaixo da figura e deve conter os elementos que possibilitem a sua leitura e compreensão sem a leitura do texto. As figuras serão inseridas após os quadros em formato editável (illustrator/eps/coreldraw/jnb/excel, etc.). Não serão aceitos manuscritos contendo figuras gráficas inseridas como imagem.

Figuras fotográficas: Fotografias devem ser apresentadas como arquivo "tagged image format [TIF]" com 500 dpi.

Fórmulas e equações: Devem ser escritas com ferramentas do editor que possibilitem sua editoração. Não serão aceitas fórmulas e equações inseridas como imagem. Equações de regressões devem ser apresentadas com notação estatística ($\hat{y} = \alpha + \beta_1^{**} x + \dots + \beta_n^{**} x$) e não na notação matemática, usual nos softwares ($y = \beta_n x + \dots + \beta_1 x + \dots + \alpha$). A indicação de significância (**) deve ser indicada sobrescrito aos coeficientes. Os coeficientes das equações de regressões devem ter um número adequado de decimais significativas.

Referências: Deve conter relação dos trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética, obedecendo o estilo denominado Vancouver. Seguem modelos para as referências mais frequentes:

a) Periódicos: Nome de todos os autores. Título do artigo. Título abreviado do periódico. Ano de publicação; volume: páginas inicial e final. Exemplo:

Fonseca JA, Meurer EJ. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras Ci Solo. 1997;21:47-50.

Rodrigues DT, Novais RF, Alvarez V VH, Dias JMM, Villani EMA, Otoni WC. In vitro germination of *Cattleya intermedia* R. Graham by means of chemical disinfection and without laminar flow. Prop Ornament Plants. 2011;11:19-24.

Artigos com DOI:

Zirlewagen D, Raben G, Weise M. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters. For *Ecol Manage*. 2007;248:43-55. doi:10.1016/j.foreco.2007.02.038

A abreviatura dos periódicos pode ser verificada nos endereços:
http://www.efm.leeds.ac.uk/~mark/ISIabbr/C_abrvjt.html,
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/journals>

b) Livro: Autores. Título da publicação. Número da edição. Local da publicação: Editora; ano de publicação. Exemplo:

Konhnke H. *Soil physics*. 2nd ed. New York: MacGraw Hill; 1969.

c) Participação em obra coletiva: Autor(es). Título da parte referenciada seguida de In: Nome(s) do(s) editor(es), editores. Título da publicação. Número da edição. Local de publicação: Editora; ano. Páginas inicial e final. Exemplos:

Jackson ML. Chemical composition of soil. In: Bear FE, editor. *Chemistry of the soil*. 2nd ed. New York: Reinhold; 1964. p.71-141.

Sharpley AN, Rekolainen S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE, editors. *Phosphorus loss from soil to water*. New York, CAB International; 1997. p.1-53.

d) Publicação em Anais: Autor(es). Título do trabalho. In: Tipo de publicação, número e título do evento [CD-ROM, quando publicado em]; data do evento (dia mês ano); cidade e país de realização do evento. Cidade (da Editora): Editora ou Instituição responsável pela publicação; ano de edição (nem sempre é o mesmo do evento). Paginação do trabalho ou do resumo. Exemplos:

Ferreira DF. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: *Anais da 45ª. Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria*; julho 2000; São Carlos. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2000. p.255-8.

Gomes SLR. Novos modos de conhecer: os recursos da internet para uso das bibliotecas universitárias. In: *Anais do 10º. Seminário Nacional de Bibliotecas Universitárias [CD-ROM]*; 25-30 out 1998. Fortaleza. Fortaleza: Tec Treina; 1998.

e) Citação de fonte eletrônica:

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de Gestão Estratégica. *Projeção do agronegócio 2009/2010 a 2019/2020* [internet]. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2011 [acesso em 10 nov 2010]. Disponível em:
http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/MAIS%20DESTAQUES/Proje%C3%A7%C3%B5es%20Agroneg%C3%B3cio%202009-2010%20a%202019-020.pdf.

f) Dissertações e teses: Autor. Título da tese (inclui subtítulo se houver) [grau]. Cidade: Instituição onde foi defendida; ano.

Silveira AO. *Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul* [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2007.

Vieira FCB. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2007.

g) Boletim técnico

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).

h) Citação de citação

Citação de citação deve ser utilizada em situações estritamente necessárias. Neste caso, citar no texto o sobrenome do autor do documento não consultado com o ano da publicação, seguido da expressão citado por seguida do sobrenome do autor do documento consultado e do ano da publicação (Abreu, 1940, citado por Neves, 2012). Nas Referências, deve-se incluir apenas a fonte consultada.

i) Comunicação pessoal

Deve ser colocada apenas em nota de rodapé. Inclui-se o nome do informante, a data que a informação foi dada, nome, estado e país da Instituição de vínculo do informante seguido pela expressão: comunicação pessoal. Por exemplo: Comunicação pessoal Joaquim da Silva, em 22 de janeiro de 2011, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil - recebida por correio eletrônico.

3.3 Citações das referências

As Referências no texto devem ser citadas em ordem cronológica e nos seguintes formatos:

- a) Um autor: (Autor, ano) ou Autor (ano), como (Silva, 1975) ou Silva (1975);
- b) Dois autores: (Autor e Autor, ano) ou Autor e Autor (ano), como: (Silva e Smith, 1975) ou Silva e Smith (1975);
- c) Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida (Autor et al., ano) ou Autor et al. (ano), como (Souza et al., 1975) ou Souza et al. (1975);
- d) Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor(es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).

3.4 Informações complementares

A RBCS utiliza o Sistema Internacional de Unidades. Seguem alguns exemplos de apresentação de valores numéricos que a RBCS adota. Considerar como padrão da RBCS o formato à direita: 72 horas = 72 h; 5 minutos = 5 min; 3 segundos = 3 s; 10 l (litros) = 10 L; 20 ml = 20 mL; 3 toneladas = 3 t ou Mg; 25°C = 25 °C; 3 m × 3 m = 3 × 3 m; 5% = 5 %; 4%, 6% e 12% = 4, 6 e 12 %; 5 m e 16 m = 5 e 16 m; 1 M HCl = 1 mol L⁻¹ ou mol/L de HCl (as duas formas são aceitas, porém solicita-se que estejam padronizadas no texto e quadros/figuras); 1 mM NaOH = 1 mmol/L ou mmol L⁻¹; grama por vaso = g/vaso; grama por planta = g/planta; plantas por frasco =

plantas/frasco; tonelada por hectare por ano = t ha⁻¹ ano⁻¹. Concentrações apresentadas em Normalidade (N) devem ser convertidas para o equivalente em mol/L ou mol L⁻¹.

A revista reserva-se o direito de efetuar, nos originais, alterações de ordem normativa, ortográfica e gramatical, com vistas a manter o padrão culto da língua, respeitando, porém, o estilo dos autores. As provas finais serão enviadas aos autores.

Sugere-se que os autores consultem artigos recentes publicados na RBCS para esclarecimento de dúvidas quanto à formatação do manuscrito.

4. Taxas editoriais

Para publicação de artigos na RBCS serão cobrados por página editorada (forma final na Revista): para sócios da SBCS (primeiro autor e, ou, autor correspondente) R\$ 25,00, até oito páginas, e R\$ 50,00 por página adicional, para não-sócios (primeiro autor e, ou, autor correspondente): R\$ 50,00 por página até oito páginas e R\$ 100,00 por página adicional.