

**RENATO LEMOS DOS SANTOS**

**CAPIM ELEFANTE CULTIVADO EM SOLO ÁCIDO COM APLICAÇÃO DE  
GESSO COMO ALTERNATIVA FITOENERGÉTICA PARA O PÓLO  
GESSEIRO DO ARARIPE/PE**

**RECIFE/PE  
MARÇO/2011**

**RENATO LEMOS DOS SANTOS**

**CAPIM ELEFANTE CULTIVADO EM SOLO ÁCIDO COM APLICAÇÃO DE  
GESSO COMO ALTERNATIVA FITOENERGÉTICA PARA O PÓLO  
GESSEIRO DO ARARIPE/PE**

**Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação  
em Ciência do Solo da  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Ciência do  
Solo.**

**RECIFE/PE  
MARÇO/2011**

### Ficha Catalográfica

S237c Santos, Renato Lemos dos  
Capim elefante cultivado em solo ácido com aplicação  
de gesso com alternativa fitoenergética para o Pólo Gesseiro  
do Araripe-Pe / Renato Lemos dos Santos. -- 2011.  
105 f. : il.

Orientador: Fernandes José Freire.  
Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Agronomia, Recife, 2011.

Referências.

1. Acidez subsuperficial 2. Energia de biomassa vegetal  
3. Pólo Gesseiro do Araripe I. Freire, Fernandes José,  
Orientador II. Título

CDD 631.4

**RENATO LEMOS DOS SANTOS**

**CAPIM ELEFANTE CULTIVADO EM SOLO ÁCIDO COM APLICAÇÃO DE  
GESSO COMO ALTERNATIVA FITOENERGÉTICA PARA O PÓLO  
GESSEIRO DO ARARIPE/PE**

**Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação  
em Ciência do Solo da  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Ciência do  
Solo.**

**Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em 03 de março de  
2011.**

**Orientador:**

---

**Dr Fernando José Freire**

**Examinadores:**

---

**Dr Edivan Rodrigues de Souza**

---

**Dr José Antônio Aleixo da Silva**

---

**Dr José Carlos Batista Dubeux Júnior**

**“É como está escrito: Coisas que os olhos não viram, nem os ouvidos ouviram, nem o coração humano imaginou (Is 64,4), tais são os bens que Deus tem preparado para aqueles que o amam.”**

I Coríntios 2, 9

*A minha família, noiva e amigos.*

*DEDICO E OFEREÇO.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a vida, a fé e perseverança.

Aos meus pais, Gerivaldo e Vânia Santos, pela compreensão e paciência; pelas lutas e sacrifícios para que tivéssemos oportunidade de estudar e seguir nossa vocação.

A meus irmãos Bruno, João Henrique (Riquinho) e Érika; e a menina de tio (Clarinha).

A toda a minha família.

A minha noiva Monalisa Costa, pela paciência, carinho, apoio, .... enfim, por todo amor; e aos seus pais Josiane e Manoel.

Ao professor Fernando Freire, pela orientação, paciência, apoio, ensinamentos e tempo dedicados durante todo o trabalho.

Aos professores Alexandre Rocha e José Aleixo por toda atenção, amizade e ensinamentos.

Ao IPA, representado por José Tavares pela parceria na realização do trabalho.

A Indústria Gesso Aliança Ltda., na pessoa de Emanuel.

Aos professores do PPGCS, por conhecimento transmitido e dedicação.

A toda equipe que me ajudou na execução das atividades: Alexandre Campelo, Vinícius, Vital, Silas, Maércio, Fernando, Jaciane, Ricardo, Thiago Magalhães, Luiz Coelho Júnior, Falkner, Tiago Calado, Marina e Cíntia.

A professora Betânia e a todos os companheiros do Laboratório de Química do Solo: Márcio Fléquisson, Patrícia Ribeiro, Guilherme Medeiros, Luís Eduardo, Monaliza Alves, Emanuel Hernandez, Anderson, Wagner.

A professora Ângela, pela atenção; e aos amigos que fiz em na Zootecnia, Cristina, Tiago e Tayara.

A Airon, Andresa (toco), Wagner (colé de mano?) e todos os outros amigos que fiz durante as disciplinas prestadas no Programa.

A amizade do professor Egídio Bezerra Neto, Isaías, Suzana, Patrícia e Priscila.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de ingressar na profissão de Engenheiro Agrônomo, e seus funcionários da UFRPE, em especial Carpina e Maria do Socorro, por todo apoio prestado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por todo conhecimento adquirido e por toda a credibilidade.

A FACEPE pela importante ajuda financeira por meio da bolsa de estudos.

A todos os amigos e irmãos em Cristo do Grupo de Oração Cenáculo do Amor, Cleybson, Renata, Jesiel, Ana Paula (Anete), Ana Paula, André, Decol, Felipe, Isabela, Sebastião, Fabrícia, Walmer e Jéssica; e da Comunidade Servos de Maria do Coração de Jesus, Ir. Sildely, Ir. Rita, e a todos as irmãs e missionários.

Ao meu querido diretor espiritual Padre Domingos Sávio.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação profissional e a realização deste trabalho.

Obrigado.



## BIOGRAFIA

RENATO LEMOS DOS SANTOS, filho de Vânia Maria Lemos dos Santos e Gerivaldo João dos Santos, nascido em 17 de novembro de 1985, na cidade de Glória do Goitá, Pernambuco. cursou o ensino médio na antiga Escola Agrotécnica Federal da Vitória de Santos Antão/PE, onde também conclui o curso Técnico em Agropecuária em 2003. Em 2004, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, Recife/PE, graduando-se no primeiro semestre do ano de 2009. Em agosto de 2009 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo na UFRPE.

SANTOS, RENATO LEMOS. MSc. pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, março de 2011. Capim elefante cultivado em solo ácido com aplicação de gesso como alternativa fitoenergética para o Pólo Gesseiro do Araripe/PE. Orientador: Dr. Fernando José Freire.

## RESUMO

O cultivo de capim elefante na Chapada do Araripe em Pernambuco pode ser uma fonte alternativa de energia para calcinação de gipsita. No entanto é uma região com predominância de Latossolos ácidos com elevados teores de Al trocável em subsuperfície, que é tóxico às plantas. A prática mais viável para a redução da toxidez do excesso de Al nessa camada é a gessagem. Devido a sua mobilidade, o gesso pode ser aplicado em superfície para agir em subsuperfície. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de capim elefante como fonte alternativa de energia e as implicações do uso do gesso mineral na produção de biomassa e na correção do solo. Para isso, foram cultivadas em campo três variedades de capim elefante: Cameroon, Gramafante e Roxo na presença e ausência de gesso mineral em arranjo fatorial (3 x 2), com os tratamentos distribuídos casualmente em 4 blocos. O ensaio experimental foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco em Araripina/PE. O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO AMARELO de classe textural franco-arenosa. Aos 128 dias após o plantio realizou-se coleta da folha +3 para avaliação do estado nutricional das plantas de capim e aos 213 dias, o corte e avaliação da produção de matéria seca, dos teores dos nutrientes na biomassa aérea, quantidade extraída e eficiência de utilização desses nutrientes, dos teores de Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), lignina, umidade, Poder Calorífico Superior (PCS) das variedades de capim, e o rendimento energético do capim na calcinação de gipsita. Aos 221 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m) para avaliar o efeito do gesso mineral e o cultivo das diferentes variedades de capim elefante sobre características químicas do solo. O capim elefante Cameroon foi mais exigente em Ca, K e P e o capim Gramafante em S. Os capins elefante Cameroon e Gramafante apresentaram elevadas produções de matéria seca, porém apenas a variedade Cameroon teve sua produção potencializada pela aplicação de gesso agrícola mineral, que alcançou 33 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. O capim elefante Gramafante pode ser recomendado para ambientes restritivos a disponibilidade de Ca e Mg e fértil em S, e apesar de ter apresentado maior teor de lignina e maior PCS, a maior produção energética por unidade de área foi observado pelo capim Cameroon, sendo assim, recomendado como fonte alternativa de energia para a região do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco. Os teores de Ca<sup>2+</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al<sup>3+</sup> e sua saturação não foram influenciados pela aplicação de gesso mineral na camada subsuperficial. Não ocorreu lixiviação de Mg<sup>2+</sup> e K<sup>2+</sup> da camada superficial. A aplicação de gesso mineral reduziu o pH do solo na camada subsuperficial. O cultivo da variedade de capim Cameroon promoveu aumento do pH do solo, redução do teor e da saturação por Al, credenciando o cultivo dessa variedade como promissor para solos ácidos da Chapada do Araripe, principalmente como fonte alternativa de energia para calcinação de gipsita para uso nos processos industriais do Pólo Gesseiro do Araripe.

SANTOS, RENATO LEMOS. MSc. at Universidade Federal Rural de Pernambuco, in March of 2011. Elephantgrass grown in acidic soil with application of gypsum as a phytoenergy alternative to the Gypsum Pole of the Araripe/PE. Guideline: Dr. Fernando José Freire.

## ABSTRACT

The cultivation of elephantgrass on Araripe plain in Pernambuco can be an alternative source of energy for calcination of gypsum. The region has a predominance of acidic Oxisols with high exchangeable Al in the subsurface, which is toxic for crops. The practice more feasible to reduce the toxicity of excess aluminum in that layer is the application of gypsum. Due to its mobility, the gypsum can be applied in the surface for acting in the subsurface soil. Therefore, the aim of this work was to assess the use of elephantgrass as an alternative source of energy as well as the implications of using mineral gypsum in the production of biomass and soil remediation. Thereby, the experiment was composed by three varieties of elephantgrass, such as, Cameroon, Gramafante and Roxo in the presence and absence of mineral gypsum through a factorial arrangement (3 x 2), with treatments arranged in 4 randomized blocks. The research was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco in Araripina/PE. The soil in the experimental area was classified as Oxisol of sandy loam texture class. At 128 days after planting was collected the leaf +3 for assessment of nutritional status of grass, at 213 days it was cut and measured the output of dry matter, nutrient content in the biomass, quantity extracted and efficiency of utilization of these nutrients, the levels of Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), lignin, moisture, higher heating value (HHV) of the varieties of grass, and also the energy yield of grass in the calcination of gypsum. Furthermore, after 221 days of treatment application, soil samples were collected at two depths (0.0-0.2 and 0.2-0.4 m) for evaluating the effect of mineral gypsum and cultivation of different varieties of elephantgrass on soil chemical characteristics. Cameroon elephantgrass was more demanding in Ca, K and P and the Gramafante grass in S. The Cameroon and Gramafante elephantgrass showed high yields of dry matter. Only the Cameroon variety had the production increased by application of mineral gypsum. As a result, this variety achieved 33 Mg ha<sup>-1</sup> of dry matter. Gramafante elephantgrass can be recommended to the environments with restrictive availability of Ca and Mg and rich in S, and despite having higher content lignin and PCS, the largest energy production by unit area was observed by the Cameroon grass, that is recommended as an alternative source of energy for the region of the Gypsum Pole of the Araripe in Pernambuco. The levels of Ca<sup>2+</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al<sup>3+</sup> and its saturation were not affected by the application of mineral gypsum at subsurface. There was not leaching of Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> of surface layer. The application of mineral gypsum reduced the pH of the soil at layer subsurface. The Cameroon cultivation provokes the increase in soil pH, reducing the Al content and saturation. The cultivation of this variety is recommended for the acid soils in the Plain Araripe, mainly as an alternative source of energy for calcination of gypsum for being useful in industrial processes of the Gypsum Pole of Araripe.

## SUMÁRIO

<b>Introdução Geral</b> .....	1
Referências Bibliográficas.....	8
<b>Capítulo I - Alterações químicas em solo cultivado com capim elefante induzidas pela presença de gesso mineral</b> .....	15
Resumo.....	16
Abstract.....	16
Introdução.....	17
Material e Métodos.....	19
Resultados e Discussão.....	22
Conclusões.....	37
Referências Bibliográficas.....	37
<b>Capítulo II - Extração e eficiência de nutrientes em capim elefante na presença de gesso mineral</b> .....	43
Resumo.....	44
Abstract.....	44
Introdução.....	45
Material e Métodos.....	47
Resultados e Discussão.....	51
Conclusões.....	66
Referências Bibliográficas.....	66
<b>Capítulo III - Produção de biomassa de capim elefante como fonte alternativa de energia em Pernambuco</b> .....	71
Resumo.....	72
Abstract.....	72
Introdução.....	73
Material e Métodos.....	75
Resultados e Discussão.....	79
Conclusões.....	89
Referências Bibliográficas.....	89
<b>Conclusões Gerais</b> .....	94

## **Introdução Geral**

### **O Pólo Gesseiro do Araripe**

O Brasil tem destaque privilegiado em reserva de gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que corresponde em torno de 1,2 bilhão de toneladas (DNPM, 2010). Cerca de 93% das reservas brasileiras estão concentradas nos Estados da Bahia (44%), Pará (31%) e Pernambuco (18%) (DNPM, 2003), seguidos, em ordem decrescente, dos Estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Tocantins e Amazonas. As reservas que apresentam as melhores condições de aproveitamento econômico estão situadas na Bacia do Araripe, região de fronteira dos Estados do Piauí, Ceará e Pernambuco.

A microrregião do Araripe se localiza no extremo oeste pernambucano, sendo composta pelos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubí, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade. Desses, apenas os municípios de Araripina, Bodocó, Ouricuri, Ipubi e Trindade formam o Pólo Gesseiro do Araripe, com cerca de 7.075 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005), tendo como principal atividade econômica a exploração mineral de gipsita, produzindo, aproximadamente, 95% da produção nacional de gesso (ALBUQUERQUE, 2002).

Segundo Baltar *et al.* (2003) os principais fatores que contribuem para o desenvolvimento e destaque do Pólo Gesseiro do Araripe são: condições favoráveis de mineração, relação estéril/minério e geomorfologia da jazida; a elevada pureza do minério, considerado o de melhor qualidade no mundo com teor médio de pureza em torno de 95%; e boa localização, situado na fronteira dos Estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, ou seja, a um raio de cerca de 700 km se encontram 8 capitais de Estados (Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina) e 8 importantes portos (Salvador, Aratú, Recife, Suape, Mucuripe, Pecém, Itaquí e Ponta da Madeira).

Esse Pólo Gesseiro é composto por 39 minas, 139 calcinadoras e 726 indústrias de pré-moldados, gerando mais de 13.200 empregos diretos e 66.000 indiretos (SINDUSGESSO, 2010).

### **Matriz energética do Pólo Gesseiro do Araripe**

Segundo a ATECEL (2006), a matriz energética do Pólo é formada por eletricidade, derivados de petróleo e biomassa, principalmente, a lenha. A eletricidade está presente em todas as etapas da cadeia produtiva, porém sua contribuição no consumo total de energético é de apenas 3%. Como contraponto, encontra-se a lenha

que é utilizada exclusivamente na calcinação, sendo responsável pela maior parcela de energético consumida em todas as atividades do Pólo Gesseiro, com 73%. O coque coloca-se como segundo energético mais utilizado, com 10%, seguido do óleo BPF (baixo poder de fusão) com 8%, ambos utilizados na calcinação. O diesel, que representa 5% do consumo, é, essencialmente, utilizado na etapa de mineração (94,7%), muito embora, 5,3% das calcinadoras também o utilize. Cerca de 76% das calcinadoras em 2003 utilizaram lenha como combustível (PNMA, 2005).

Apesar da importância do Pólo, seu desenvolvimento tem sido comprometido por graves problemas na sua matriz energética, sendo considerado por Lyra Sobrinho (2007) como o gargalo de seu desenvolvimento.

### **O Pólo Gesseiro do Araripe e a degradação ambiental**

Atualmente, a degradação ambiental dessa microrregião está principalmente associada à industrialização de minerais, especialmente a gipsita (ARAÚJO, 2004). Em consequência, na medida em que a indústria do gesso foi se desenvolvendo, utilizando-se principalmente de lenha como energético para a calcinação, tem provocado a devastação do estoque lenheiro da região. Desta forma, as indústrias são obrigadas a adquirir lenha nos Estados vizinhos, transferindo o problema da falta de combustível para exploração ilegal de lenha em outras áreas.

O Pólo Gesseiro do Araripe está entre os grandes consumidores de lenha e carvão e dos que consomem mais de seis mil metros cúbicos de lenha por ano (ALBUQUERQUE, 2002). Desta forma, é obrigado a manter ou formar diretamente ou com a participação de terceiros, florestas próprias destinadas à sustentação das atividades desenvolvidas, de acordo com a Lei nº. 11.206 (s.d.).

Só no Município de Araripina, 22 mil hectares de caatinga são desmatados por ano para serem usados como lenha nos fornos das calcinadoras de gesso (IBAMA, 2005). A SECTMA-PE (2005) revela que a Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe (APA) sofreu reduções consideráveis entre 1997 e 2004, em sua cobertura florestal, aumentando o antropismo em torno de 17%.

Entre 1999 e 2004 a produção de gesso do Pólo cresceu 33%, chegando a 3,6 milhões de toneladas de gesso, pré-moldados e gipsita, sendo que apenas de 2 a 3% da lenha consumida proveio de planos de manejo florestal (SECTMA, 2007). Para cada tonelada de gesso se utiliza, aproximadamente, 0,5 metro cúbico (st) de lenha. Desta modo, para o consumo estimado de 4 milhões de metros cúbicos de lenha é necessário o manejo de 6,334 mil ha ano<sup>-1</sup>. Segundo a SECTMA (2007), 97% da lenha consumida

pelas calcinadoras do Pólo Gesseiro do Araripe, vêm do extrativismo sem reposição. De acordo com Silva (2008-2009) na Região do Araripe o consumo de energéticos florestais (lenha) no setor industrial/comercial é superior a 3 milhões st/ano.

Segundo Cunha *et al.* (2008) a desinformação e a falta de conhecimentos aliados à cultura e a sobrevivência levam as populações locais a desmatar a caatinga. A falta de fiscalização por parte do IBAMA, aliado ao descompromisso com o meio ambiente, levam os fornecedores de lenha e empresários do setor calcinador a não adotarem planos de manejo. Por outro lado, o poder público não procura somar esforços junto ao empresariado na busca de soluções para a matriz energética do Pólo Gesseiro do Araripe.

Devido às características peculiares de onde o bioma caatinga se encontra, a vegetação apresenta lento desenvolvimento, e desta forma, não comporta a demanda energética de lenha. Segundo Sá (1998) a estimativa do volume de madeira da caatinga varia de acordo o porte e estado da vegetação. Assim, as vegetações arbustivo-arbóreo aberta, arbustivo-arbóreo fechada e arbóreo, podem representar, respectivamente 126,13; 181,12; e 287,73 st ha<sup>-1</sup>. Porém essas áreas apresentam diferentes e longos períodos de rotação, em média o período de rotação da Caatinga é superior a 10 anos, apresentando incremento médio anual de 15 st ha<sup>-1</sup>, em locais de boa produção (SILVA, 2008-2009). De acordo com Barros (2009), o incremento médio anual da vegetação de caatinga sob o regime de manejo florestal em Trindade/PE aos 7 anos foi de 7,43 st ha<sup>-1</sup>.

Como a demanda energética do Pólo Gesseiro exerce uma grande pressão sobre os recursos florestais, faz-se necessário o planejamento de estratégias que minimizem essa pressão e que incluam a aplicação de novas alternativas, como o plantio de eucalipto aliado ao manejo florestal sustentado da caatinga, bem como de outras espécies que possuam atributos energéticos relevantes, como a cana-de-açúcar e o capim elefante, teoricamente de efeito mais rápido e imediato pela elevada produção de matéria seca por área.

### **Produção de energia pela biomassa vegetal**

A biomassa pode ser conceituada como todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia. Sendo assim, a energia da biomassa é uma forma indireta de utilização da energia solar, sendo ela convertida em energia química por meio da fotossíntese, que pode ser liberada diretamente por combustão ou convertida por algum processo, como é o caso do álcool (ATECEL, 2006). Isto significa que quanto maior for o crescimento da massa vegetal num período

curto de tempo, mais eficiente será o aproveitamento da energia solar pela planta, e desta forma, as gramíneas forrageiras apresentam crescimento mais acelerado que outras fontes vegetais, como espécies madeiras (MORAIS, 2008).

Segundo Quesada *et al.* (2004) a produção de material energético alternativo por meio de biomassa vegetal representa um desafio para a ciência e para os países de um modo geral, principalmente os emergentes. Como a queima de biomassa no máximo recicla CO<sub>2</sub> que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese, tudo indica que, em longo prazo, esta será a alternativa energética para contornar a crise ambiental e a dependência ao petróleo que vive o planeta. Soma-se a isso, o fato de que, com o Protocolo de Kyoto, os países que obtêm energia por meio de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), possuem créditos pela da “venda” do carbono não emitido.

Entre as espécies de alta eficiência fotossintética, resultando numa grande capacidade de acumulação de matéria seca, possuindo também características qualitativas que a credenciam a ser estudada para a produção de energia, como, por exemplo, um percentual de fibra elevado (65%), está o capim elefante (QUESADA, 2005).

### **Poder calorífico**

Segundo Vale *et al.* (2000) a utilização de determinada madeira ou material para fins energéticos deve se basear, no conhecimento do poder calorífico e no seu potencial para produção de biomassa.

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa de um material, sendo dividido em superior (PCS) e inferior (PCI). A quantidade de energia, na forma de calor, liberada na combustão completa de uma unidade de massa do combustível corresponde ao PCS. Enquanto que o PCI é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após se deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989; DINIZ *et al.*, 2004; QUIRINO *et al.*, 2005; PERES *et al.*, 2007).

As unidades mais usadas para combustíveis líquidos e sólidos são kcal kg<sup>-1</sup>, cal g<sup>-1</sup>, MJ kg<sup>-1</sup> e kJ kg<sup>-1</sup> no sistema internacional. O PCS é a quantidade de calor que pode ser produzida por 1 kg ou por 1 g de combustível quando esse entra em combustão com excesso de O<sub>2</sub> e os gases de descarga são resfriados até o ponto de condensação da água (DINIZ *et al.*, 2004).



## O capim elefante

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem origem na África Tropical (NASCIMENTO JÚNIOR, 1975), ocorrendo desde Guiné, a oeste, até Angola e Zimbábue, no sul, e Moçambique e Kênia, ao leste (TCACENCO e BOTREL, 1997), regiões que apresentam precipitação pluviométrica anual superior a 1.000 mm. Atualmente, graças ao alto valor na alimentação animal como forrageira, encontra-se distribuído em diversos países, de diferentes regiões (tropical e subtropical), desde o nível do mar até 2.000 m acima deste (TCACENCO e BOTREL, 1997). No Brasil, sua introdução ocorreu em 1920 (SACCHET *et al.*, 1987), sendo hoje conhecido em todo o país com dezenas de cultivares.

É uma gramínea perene, podendo atingir mais de 5 m de altura, em densas touceiras. Essas características aliada a sua alta produção de matéria seca por unidade de área, facilidade de multiplicação, boa palatabilidade e pelo equilíbrio nutritivo, proporcionaram seu cultivo em todo o Brasil, resistindo às condições climáticas desfavoráveis, como a seca e o frio. Nesse sentido, autores como Andrade & Salgado (1992), Alberto *et al.* (1993) e Andrade (1993) têm trabalhado com essa espécie, avaliando sua produtividade e qualidade. As maiores mudanças que ocorrem na composição química das plantas forrageiras são aquelas que acompanham sua maturação. À medida que a planta envelhece, a proporção dos componentes potencialmente digestíveis tende a diminuir e a de fibras aumentar. Isso pode ser observado no trabalho de Santana *et al.* (1989), com cultivares de capim elefante, quando se observaram redução na percentagem de lâmina foliar e, conseqüentemente, aumento na percentagem de colmos com o envelhecimento das plantas.

Outros autores vêm desenvolvendo pesquisas sobre a possibilidade de utilizar esse alto teor de fibras e alta produtividade de biomassa como fonte alimentadora de fornos. O Programa Integrado de Biomassa (PIB), coordenado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e financiado pela FINEP tem estudado a queima direta de gramíneas: colheita, secagem, transporte e combustão sob a responsabilidade da Unicamp. Com a finalidade de alimentar fornos intermitentes, típico, utilizado na indústria de cerâmica estrutural (cerâmica vermelha). Os resultados parciais têm mostrado que a problemática do uso dessa gramínea como alternativa para essas indústrias reside, principalmente, na sua alimentação (SEYE, *et al.*, 2000). Uma forma de aumentar a eficiência da biomassa vegetal é a produção de carvão (MORAIS, 2008).

De acordo com Mazzarella (2007) as vantagens comparativas do capim elefante como produtoras de biomassa em relação às demais fontes são: maior produtividade de matéria seca ( $45 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), necessitando de menor extensão de áreas para uma dada produção; menor ciclo produtivo (dois cortes por ano); melhor fluxo de caixa; possibilidade de mecanização total; energia renovável; e maior assimilação de C.

Segundo Morais (2008) valores de lignina acima de 10% encontrados em colmo e folha e de fibra em detergente ácido (FDA) próximos a 52% em colmo de capim elefante, são indícios da qualidade desses materiais para produção de energia. E ainda, que mesmo apresentando percentuais inferiores aos de outras plantas usadas para o mesmo fim, como o eucalipto, quando se considera a produtividade e o número de cortes por ano, o capim elefante é vantajoso.

Flores (2009) encontrou valores satisfatórios de PCS em capim elefante, uma vez que esses valores foram cerca de 8% menores que os encontrados em amostras de eucalipto.

### **Uso do gesso agrícola**

Segundo Guimarães (1985) a maioria dos solos brasileiros apresenta acidez elevada, possuindo, ainda, muitas vezes, elevados teores de alumínio trocável, que é tóxico as plantas, reduzindo o crescimento radicular (ADAMS & PEARSON, 1970; PAVAN *et al.*, 1982), especialmente, o ápice das raízes (KOCHIAN, 1995) que, inicialmente, tornam-se alongadas e, posteriormente, engrossam e não se ramificam normalmente, dificultando o acesso a reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (CLARKSON, 1967; MCCORMICK & BORDEN, 1972; TANG *et al.*, 2003). Diferentemente da maioria dos solos situados no sertão pernambucano, pouco intemperizados, existem solos com saturação por Al a níveis, possivelmente, tóxicos às plantas, como o LATOSSOLO AMARELO da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Araripina/PE.

Para correção de problemas de acidez, sobretudo ocasionada por elevados teores de Al trocável, usualmente utilizam-se corretivos químicos a base de carbonato de Ca (calcário). Contudo os efeitos ficam restritos à camada arável ou superficial do solo, pouco excedendo 0,15 a 0,20 m de profundidade, em vista das dificuldades encontradas para incorporação mecânica dos corretivos a profundidades mais elevadas. Segundo Quaggio (2000), nessa situação o uso do gesso agrícola aparece como solução para este problema devido à sua rápida mobilidade na camada arável, indo se movimentar para camadas mais profundas.

Segundo Alvarez V. & Dias (1994) a aplicação de gesso não provoca alterações significativas no pH do solo, pois, na faixa de pH dos solos agrícolas, o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  não é um receptor de prótons, como os íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ , produtos da dissociação do carbonato de Ca presente nos calcários.

Esse corretivo pode ser de origem industrial (GUIMARÃES, 1985; CAÍRES *et al.*, 1998, 2001; WADT, 2000) ou mineral (SALDANHA *et al.*, 2007; ROCHA *et al.*, 2008). No caso do gesso oriundo de processo industrial, o denominado gesso agrícola é o sulfato de Ca dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), obtido como subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados. Para a produção de ácido fosfórico, as indústrias de fertilizantes utilizam como matéria prima a rocha fosfática (apatita, especialmente a fluorapatita) que, ao ser atacada por ácido sulfúrico + água, produz, como sub-produto da reação, o sulfato de Ca e o ácido fluorídrico (MALAVOLTA, 1992).

Enquanto que o gesso de origem mineral, que apresenta ótimas condições para utilização na agricultura, é encontrado em depósitos sedimentares de diversas regiões do mundo. O Estado de Pernambuco possui, na região do Pólo Gesseiro, uma produção de 1,8 milhões de Mg ano<sup>-1</sup>, representando 95% de todo o gesso brasileiro; entretanto, menos de 1% deste total é utilizado para fins agrícolas (SECTEMA-PE, 2007; DNPM, 2010).

O gesso agrícola oriundo do Pólo Gesseiro do Araripe é o próprio mineral gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) triturado. Pela maior solubilidade que o calcário, o gesso alcança a subsuperfície do solo. O íon  $\text{SO}_4^{2-}$  é o ânion acompanhante mais recomendado para distribuir  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para as camadas onde as raízes das plantas efetivamente atuam para que estes cátions possam promover a redução da saturação por Al no perfil do solo. Com a adição de  $\text{CaSO}_4$  ao solo ocorrem movimentos de íons, devido a formação de complexos neutros,  $\text{CaSO}_4^0$  e  $\text{MgSO}_4^0$ , e neutralização de elementos tóxicos como  $\text{Al}^{3+}$ , quer seja por reações de complexação ( $\text{AlSO}_4^+$ ) ou polimerização (GUIMARÃES, 1985).

A correção do nível elevado de Al em subsuperfície pela aplicação de gesso agrícola se relaciona com a movimentação de Ca para camadas mais profundas do solo e, conseqüentemente, redução da acidez trocável e do efeito tóxico do excesso de Al, proporcionando um maior número de raízes em profundidade. Assim, as plantas têm acesso a reservas de água e nutrientes em subsuperfície, o que leva a melhor nutrição e desenvolvimento e, conseqüente aumento de produtividade.

Muitos pesquisadores vêm observando o potencial do gesso em proporcionar acúmulo de matéria seca pela melhoria do ambiente radicular. Summer (1995) observou

efeitos positivos do gesso agrícola nas mais variadas condições de solo e clima e que seu emprego pode constituir uma boa alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais dos solos. Rocha (2007), estudando o gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar, observou que o aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  proporcionou maior percentagem de raiz em subsuperfície. Aumento da produção de biomassa e grãos foi observado em diferentes gramíneas pela aplicação de gesso, como cana-de-açúcar, braquiária e milho (CASAGRANDE & SOUZA, 1982; GUEDES *et al.*, 2000; CAÍRES *et al.*, 2004; ROCHA, 2007).

Objetivando avaliar a correção de subsolo ácido com a aplicação de gesso agrícola em gramínea, Caíres *et al.* (1999), mostraram que houve redução dos teores de  $\text{Al}^{3+}$  nas camadas 40 - 60 e 60 - 80 cm por meio da aplicação de doses crescentes de gesso e que essas doses elevaram os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em todo o perfil, elevando a produtividade em cerca de 1.100 kg ha<sup>-1</sup> de colmo.

Desta forma, acredita-se que o uso do gesso produzido na própria região do Araripe pode potencializar a produção de matéria seca do capim elefante por sua atuação na correção da acidez trocável em subsuperfície, proporcionando maior quantidade de biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia alternativa.

### **Referências bibliográficas**

ADAMS, F.; PEARSON, R.W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. **Agronomy Journal**, v.62, n.1, p.9-12, 1970.

ALBERTO, G., *et al.* Efeito de adição de grão de sorgo moído e do emurchecimento sobre a qualidade de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.1, p.1-11, 1993.

ALBUQUERQUE, J. L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: uma análise considerando o Pólo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 185 p., 2002.

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L.E. **Enxofre.** Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 106p., 1994.

ANDRADE, I.F. Efeito da época de vedação na produção e valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mineirão. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.1, p.53-63, 1993.

ANDRADE, I.F., SALGADO, J.G.F. Efeito da época de vedação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Cameroon sobre sua produção e valor nutritivo. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.4, p.637-646, 1992.

ARAÚJO, S.M.S. **O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração**. Tese (Doutorado), USP, Campinas, 276 p., 2004

ATECEL – **Diagnóstico energético do setor industrial do pólo gesseiro da meso região de Araripina – PE**. Campina Grande, 126 p., 2006.

BALTAR, C.A.M. *et al.* **Diagnóstico do Pólo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento**. 2003. Disponível em [http://www.minas.upm.es/catedranefa/Consultas/MAGALHAESCarlos\\_IVIBERMAC.pdf](http://www.minas.upm.es/catedranefa/Consultas/MAGALHAESCarlos_IVIBERMAC.pdf). Acesso em: 21 de abril de 2010.

BARROS, B. C. **Volumetria, densidade, carbono e calorimetria de espécies nativas e exóticas no Pólo Gesseiro do Araripe**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 67p. 2009.

CAÍRES, E. F. *et al.* Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAÍRES, E.F.; *et al.* Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315-327, 1999.

CAÍRES, E. F. *et al.* Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.

CAÍRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CASAGRANDE, J.C., SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado de Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.21-25, 1982.

CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces cell wall material. **Plant Soil**, Dordrecht, v.27, n3, p.347-355, 1967.

CUNHA, A. B. *et al.* Consumo da Lenha na Calcinação da Gipsita e Impactos Ambientais no Pólo Gesseiro da Mesorregião do Araripe – PE. **Revista de Biologia e Farmácia**, v. 2, n. 1, 2008.

DINIZ, J. *et al.* Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêsego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v.26, n.2, p.25-32, 2004.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral. **Gipsita**. p.80-81, 2003.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral. **Cimento**. p.636-654, 2010.

FLORES, R. A. **Produção de capim elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado: resposta a adubação Nitrogenada e idade de corte.** Dissertação (mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Soropédica, 80p., 2009.

GUEDES, L. M. *et al.* Influência da aplicação de gesso na produção de matéria seca, na relação nitrogênio:enxofre e concentrações de enxofre, cobre, nitrogênio e nitrato em pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, n.5., p.521-526, 2000.

GUIMARÃES, P.C.T. O gesso agrícola na neutralização de alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: aplicações às culturas anuais e perenes. **In:** Seminário Sobre o uso do fosfogesso Na Agricultura, I, Anais. Brasília: IBRAFOS, p.145-168, 1985.

IBGE - **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2005.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 2005. **In:** CUNHA, A. B. *et al.* Consumo da Lenha na Calcinação da Gipsita e Impactos Ambientais no Pólo Gesseiro da Mesorregião do Araripe – PE. Revista de Biologia e Farmácia, v. 2, n. 1, 2008.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 6p., 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. *et al.* **Gipsita.** Departamento Nacional de Produção Mineral, 2007. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/>, Acesso em junho de 2010.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta - Perguntas e Respostas. **In:** Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, II, Anais. São Paulo, IBRAFOS, p.41-66, 1992.

MAZZARELLA, V. N. G. **Capim Elefante com Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas.** Jornada Madeira Energética, Rio de Janeiro, IPT-BNDS, 2007.

McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, n.5, p.799-807, 1972.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso**

**como fonte alternativa de energia.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 73p., 2008.

NASCIMENTO JÚNIOR, D. **Informações sobre algumas plantas forrageiras cultivadas no Brasil.** Viçosa: UFV - Imprensa Universitária, 73p., 1975.

PAVAN, M.A. *et al.* Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1201-1207, 1982.

PERES, S. *et al.* Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia. **In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, Anais. Brasília, 2007.

PNMA – Programa Nacional do Meio Ambiente II. **Licenciamento Ambiental no Araripe. Estudo preliminar da relação de causa e efeitos e hierarquização dos problemas ambientais da Região do Araripe – PE.** 36p., 2005.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 111p., 2000.

QUESADA, D. M., *et al.* Parâmetros Qualitativos de Genótipos de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da Biomassa. **Circular Técnica 8.** Seropédica, RJ, Novembro, 2004.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim elefante como potencial para uso energético.** Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 76 p., 2005.

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira.** v.89, abril, p.100-106, 2005.

ROCHA, A. T., **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial.** Tese (Doutorado), UFRPE, Recife, 69 p., 2007.



ROCHA, A. T. *et al.* Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.307-312, 2008.

SÁ, J. A. G.M. **Avaliação do estoque lenhoso do sertão e agreste pernambucano – Inventário Florestal do Estado de Pernambuco.** Recife: NUD/FAO/IBAMA/GOVERNO DE PERNAMBUCO, 175p., 1998.

SACCHET, A. M. de O. F. *et al.* Estudos citogenética de algumas cultivares de *Pennisetum purpureum* Schum. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 39, **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 7, p.744, Suplemento, 1987.

SALDANHA, E. C. M. *et al.* Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n. 1, p.36-42, 2007.

SANTANA, J. P. *et al.* Avaliação de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no Sul da Bahia. I. Agrossistema Cacaueiro. **Revista de Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.18, n.3, p.273-282, 1989.

SECTMA-PE - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. **Pólo gesseiro de Pernambuco diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe.** Recife, 2005.

SECTEMA-PE - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. **Região do Araripe: Diagnóstico Florestal.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2007.

SEYE, O. *et al.* Queima direta de gramínea Projeto Integrado de Biomassa - PIB. In **Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural**, Campinas, 2000 [online].

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe – Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, vols. 5 e 6, p.301-319, 2008-2009.

SINDUSGESSO, disponível em [www.sindusgesso.org.br](http://www.sindusgesso.org.br) acessado em 20/04/10;

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. **In:** JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. (Eds.). Subsoil management techniques. Athens: Lewis Publishers, p.147-185, 1995.

TANG, C; *et al.* Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field and crops research**. v.80, n.3, p.235-244. 2003.

TCACENCO, F. A.; BOTREL, M. de A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim elefante. **In:** CARVALHO, M. M. *et al.*. 2ª Ed. Capim elefante: produção e utilização. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, p.1-30, 1997.

VALE, A. T. *et al.* Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Accia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

WADT, P. G. S. Alterações eletroquímicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.519-524, 2000.

## **Capítulo I**

**Alterações químicas em solo cultivado com capim elefante induzidas pela presença de gesso mineral**

**Chemical changes in soil cultivated with elephantgrass induced by the presence of mineral gypsum**

## Resumo

O cultivo de capim elefante na Chapada do Araripe em Pernambuco pode ser uma fonte alternativa de energia para calcinação do gesso mineral. No entanto é uma região com predominância de Latossolos ácidos com elevados teores de Al trocável em subsuperfície, que é tóxico as plantas. A prática mais viável para a redução da toxidez do excesso de Al nessa camada é a gessagem. Devido a sua mobilidade, o gesso pode ser aplicado em superfície para agir em subsuperfície. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do gesso de origem mineral da própria região do Araripe na elevação dos teores de Ca trocável e na redução dos teores de Al trocável em subsuperfície, em solo cultivado com diferentes variedades de capim elefante. Para isso, foram cultivadas em campo três variedades de capim elefante: Cameroon, Gramafante e Roxo na presença e ausência de gesso mineral em arranjo fatorial (3 x 2), com os tratamentos distribuídos casualmente em 4 blocos. O ensaio experimental foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina/PE. O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO AMARELO de classe textural franco-arenosa. Aos 221 dias após a aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0,0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m) para avaliar o efeito do gesso agrícola mineral e o cultivo das diferentes variedades de capim elefante sobre características químicas do solo. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e sua saturação não foram influenciados pela aplicação de gesso agrícola mineral na camada subsuperficial. Não ocorreu lixiviação de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{2+}$  da camada superficial. A aplicação de gesso agrícola mineral reduziu o pH do solo na camada subsuperficial. O cultivo da variedade de capim Cameroon promoveu aumento do pH do solo, redução do teor e da saturação por Al, credenciando o cultivo dessa variedade como promissor para solos ácidos da Chapada do Araripe, principalmente como fonte alternativa de energia para calcinação de gesso mineral para uso nos processos industriais do Pólo Gesseiro do Araripe.

**Palavras-chave:** movimentação de cátions, acidez subsuperficial, gipsita

## Abstract

The cultivation of elephantgrass on Araripe Plain in Pernambuco can be an alternative source of energy for calcination of mineral gypsum. However, it is a region with a predominance of acidic Oxisols with high exchangeable Al in the subsurface, which is toxic to plants. The practice more feasible to reduce the toxicity of excess aluminum in that layer is the application of gypsum. Due to its mobility, the gypsum can be applied in the surface for acting in the subsurface soil. Therefore, the aim of this work was to evaluate the potential of the mineral gypsum from the Araripe region in the rising of the exchangeable Ca and also the reduction of exchangeable Al in subsurface, in soil cultivated with different varieties of elephantgrass. The experiment was composed of three varieties of elephantgrass, such as, Cameroon, Gramafante and Roxo in the presence and absence of mineral gypsum through a factorial arrangement (3 x 2), with treatments arranged in 4 randomized blocks. The research was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco in Araripina/PE. The soil of experimental area was classified as Oxisol of sandy loam texture class. Furthermore, after 221 days of treatment application, soil samples were collected at two depths (0.0 to 0.2 and 0.2 - 0.4 m) to evaluate the effect of mineral gypsum and the cultivation of different varieties of elephantgrass on soil chemical characteristics. The levels of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  and also its saturation were not affected by the application of mineral gypsum in the soil subsurface layer. There was no leaching of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^{+}$  surface layer. The application of mineral gypsum reduced the pH of the soil subsurface layer. The growing of Cameroon variety grass promoted the increase in soil pH, reducing the content of Al saturation. The cultivation of this variety is recommended for

the acid soils of the Araripe plain, chiefly as an alternative source of energy for calcination of mineral gypsum for being useful in industrial processes of the Gypsum Pole of Araripe.

**Key words:** movement of cations, acidity subsurface, gypsite

## **Introdução**

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea de alta produção de matéria seca por unidade de área, devido a facilidade de multiplicação, equilíbrio nutritivo e adaptação a condições climáticas desfavoráveis, o que proporciona seu cultivo em todo Brasil (OLIVEIRA, 2001).

Assim, essa elevada capacidade de produção de matéria seca credencia o capim elefante como biomassa alternativa para produção energética no Sertão do Araripe, minimizando o uso do Bioma Caatinga para calcinação de gipsita e uso nos processos industriais do Pólo Gesseiro do Araripe, numa região de elevada demanda energética. No entanto, grande parte dos solos da Chapada do Araripe são Latossolos que apresentam limitações agrícolas pelos elevados índices de acidez, tanto em superfície como em subsuperfície (CAVALCANTI & LOPES, 1994).

A maioria dos solos brasileiros apresenta-se ácido, devido aos processos de formação, em especial a latolização, que promove a lixiviação dos cátions de caráter básico ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) e o acúmulo de cátions ácidos, como o  $\text{Al}^{3+}$ . Os Latossolos, classe de solos oriundos da latolização, em geral, apresentam-se ácidos, profundos, sem incremento significativo de argila entre os horizontes e baixa fertilidade natural. Associado a essas características pode ainda ser encontrado teores tóxicos de  $\text{Al}^{3+}$  em subsuperfície, o que restringe o crescimento do sistema radicular das plantas e conseqüentemente, o acesso à água e nutrientes, além de inibir a absorção e translocação de P para parte aérea das plantas (RHEINHEIMER *et al.*, 1994; ABICHEQUER *et al.*, 2003).

De maneira geral, as plantas apresentam diversas reações em relação ao seu comportamento na presença de teores tóxicos de Al. Essa diferença na tolerância ao Al é genética e pode ocorrer entre espécies ou entre cultivares da mesma espécie (ANIOL, 1984). Desta forma, o uso de plantas geneticamente adaptadas e a correção do solo, são ações importantes para a exploração de ambientes com elevada saturação por Al.

Segundo Keltjens (1997), os mecanismos que podem estar relacionados na adaptação de plantas ao excesso de Al são: a imobilização de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  na rizosfera pela elevação do pH; diminuição na taxa de absorção e/ou aumento na taxa de imobilização interna de espécies fitotóxicas de Al; excreção

radicular de exsudatos, como ácidos orgânicos (málico e cítrico) e polipeptídios que possuem ação quelante sobre o íon Al no apoplasto celular das raízes e na rizosfera; associação micorrízica com raízes de plantas promovendo aumento na absorção de P e ação hormonal protetiva.

A prática mais eficiente na correção da acidez é a calagem. Porém devido à baixa solubilidade e mobilidade do calcário, não é possível alcançar resultados satisfatórios em subsuperfície, pois sua atuação fica restrita ao local de aplicação. Nesse sentido, vários autores têm estudado o uso do gesso como corretivo da acidez trocável em subsuperfície, tendo esse material origem industrial (GUIMARÃES, 1985; CAÍRES *et al.*, 1998, 2002; WADT, 2000) ou mineral (SALDANHA *et al.*, 2007; ROCHA *et al.*, 2008). O gesso de origem industrial é um resíduo da produção de ácido fosfórico e o gesso mineral é oriundo, em especial, da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mas também de outros minerais como a anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Em Pernambuco, especialmente no Pólo Gesseiro do Araripe, esses minerais se apresentam em grandes reservas de origem prevalente sedimentar associada a depósitos evaporíticos (DNPM, 2010).

A aplicação do gesso como corretivo da acidez trocável é dada pela sua maior mobilidade em relação ao calcário, o que permite que alcance a subsuperfície (QUAGGIO, 2000), promovendo a formação de complexos neutros ou não tóxicos as plantas com  $\text{Al}^{3+}$ , como  $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$  e  $\text{Al}(\text{SO}_4)^0$ , além de distribuir de forma mais uniforme  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no perfil do solo (GUIMARÃES, 1985).

Segundo Alvarez V. & Dias (1994), a aplicação de gesso não provoca alterações significativas no pH do solo, pois, na faixa de pH dos solos agrícolas, o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  não é um receptor de prótons, como os íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ , produtos da dissociação do  $\text{CaCO}_3$  presente nos calcários.

Outros efeitos positivos do uso do gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular nas camadas subsuperficiais nas mais variadas condições de solo e clima foram encontrados por Summer (1995). Rocha *et al.*, (2008) estudando o gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar observaram que o aumento no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em subsuperfície proporcionou maior incremento de raiz nessa zona de prospecção radicular.

Assim, o uso do gesso de origem mineral produzido na própria região do Araripe pode potencializar a produção de matéria seca do capim elefante por sua atuação na correção da acidez trocável em subsuperfície, proporcionando maior quantidade de biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia alternativa. Essa correção se relaciona com a movimentação de Ca para camadas mais profundas do solo e,

consequentemente, redução da acidez trocável e do efeito tóxico do excesso de Al, proporcionando um maior número de raízes em profundidade.

Desta forma, este trabalho objetivou avaliar o potencial do gesso de origem mineral do Araripe na elevação do teor de Ca trocável e na redução do teor de Al trocável em subsuperfície, em solo cultivado com diferentes variedades de capim elefante na Chapada do Araripe em Pernambuco.

### Material e Métodos

Para avaliar o efeito do gesso mineral, que doravante será chamado de gesso agrícola mineral, em solo cultivado com diferentes variedades de capim elefante, conduziu-se, no período de janeiro a setembro de 2010, um experimento de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada a 694 km do Recife, com coordenadas geográficas 07°27'37'' S e 40°24'36'' W e altitude de 831 m, em um solo classificado como LATOSSOLO AMARELO (CAVALCANTI & LOPES, 1994). A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, tendo o período chuvoso com início em novembro e término em abril, e a precipitação média anual é de 431,8 mm (CPRM, 2005). Durante o ensaio experimental a precipitação pluviométrica foi de 350,2 mm (Figura 1).

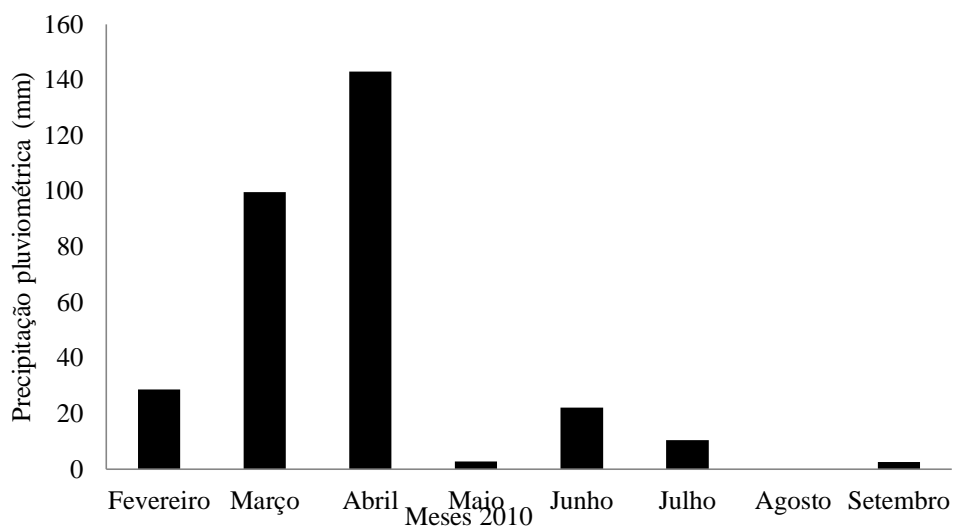


Figura 1. Pluviometria durante o ensaio experimental na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Araripina/PE.

A caracterização química e física do solo (Tabela 1) foi realizada em duas profundidades (0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m), onde se determinou pH (H<sub>2</sub>O), pH

(CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, (H+Al), P, COT (Carbono Orgânico Total), S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e P-remanescente (P-rem). O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; o P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> com Mehlich-1; e o (H+Al) com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, conforme EMBRAPA (2009). O S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível foi extraído com fosfato de cálcio em água (ALVAREZ V. *et al.*, 2001) e a capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS) foi determinada conforme metodologia descrita por Alvarez V. *et al.* (2001). O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, o Al<sup>3+</sup> e o (H+Al) foram determinados por titulometria; o K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama; o P por colorimetria; o S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> por turbidimetria (ALVAREZ V. *et al.*, 2001); o COT por combustão úmida com dicromato de K (EMBRAPA, 2009); e o P-rem segundo metodologia descrita por Alvarez *et al.* (2000). Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria para definição de sua classe textural; densidade do solo pelo método da proveta; densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; condutividade hidráulica; e indiretamente, a porosidade total. Com exceção da granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta adaptado por Ruiz (2004), todas as demais análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Foram utilizadas três variedades de capim elefante (Roxo, Cameroon e Gramafante), submetidas a dois níveis de gesso mineral 0 e 100%, que correspondeu as doses de 0 e 494 kg ha<sup>-1</sup>, calculadas segundo Alvarez *et al.* (1999). O ensaio foi disposto casualmente em 4 blocos, compondo um fatorial 3 x 2, totalizando 24 unidades experimentais. A parcela foi composta por sete sulcos de 6 m de comprimento e espaçados por 1 m, perfazendo uma área total de 42 m<sup>2</sup>. A área útil foi formada pelas 3 linhas centrais descartando 1 m das extremidades, totalizando 12 m<sup>2</sup>.

O experimento foi instalado no início das chuvas (Figura 1), sendo precedido pela aplicação de calcário dolomítico em área total, calculado para correção da camada 0,0 a 0,2 m de profundidade (Tabela 1), cuja Necessidade de Calagem (NC) foi estimada pelo método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg (IPA, 2008). Assim, calculou-se uma dose de calcário que correspondeu a 0,550 Mg ha<sup>-1</sup>, que foi incorporada com grade de discos em todas as parcelas experimentais oito dias antes do plantio.

A dose correspondente ao nível de 100% de gesso foi calculada de acordo com o resultado da NC da camada 0,2 a 0,4 m de profundidade (Tabela 1), utilizando-se o método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg



(IPA, 2008). De acordo com Alvarez *et al.* (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada do solo em subsuperfície que se deseja corrigir. No caso deste trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2 a 0,4 m de profundidade, cuja dose de gesso correspondeu a 0,495 Mg ha<sup>-1</sup>. O gesso foi aplicado no fundo do sulco de plantio, de 0,3 m de profundidade.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m na área do ensaio de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina/PE

Atributo	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4
pH água (1:2,5)	4,85	4,54
pH CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	3,30	3,40
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,95	0,30
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,68	0,38
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,14	0,09
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,23	0,24
P (mg dm <sup>-3</sup> )	4,00	1,00
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	62,95	58,28
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37	0,70
(H + Al) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,74	3,27
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,37	1,71
m (%) <sup>3</sup>	15,49	40,90
PST (%) <sup>4</sup>	3,95	5,49
COT (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	8,1	5,2
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	1,83	0,69
CMAS (mg g <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	0,012	0,018
Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	729,75	722,28
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	569,81	551,49
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	159,94	170,79
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	133,88	143,75
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	136,38	133,97
Classe Textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Dp (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	2,99	2,98
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>8</sup>	1,43	1,41
PT (%) <sup>9</sup>	52,26	52,64
K <sub>0</sub> (mm h <sup>-1</sup> ) <sup>10</sup>	65,24	92,83

<sup>1</sup> Fósforo remanescente; <sup>2</sup> Capacidade de troca de cátions; <sup>3</sup> Saturação por alumínio; <sup>4</sup> Porcentagem de sódio trocável; <sup>5</sup> Carbono orgânico total; <sup>6</sup> Capacidade máxima de adsorção de sulfato; <sup>7</sup> Densidade da partícula; <sup>8</sup> Densidade do solo; <sup>9</sup> Porosidade total; <sup>10</sup> Condutividade hidráulica saturada.

Todas as parcelas receberam adubação com N, P e K, de acordo com as Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) e com os

resultados das análises da caracterização química do solo (Tabela 1). Desta forma, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, 286 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de K. O superfosfato triplo foi aplicado todo em fundação, e os demais 1/3 em fundação e 2/3 em cobertura, 70 dias após o plantio.

Oito dias após a aplicação do gesso agrícola mineral foi realizado o plantio das variedades de capim elefante. Foram utilizadas 4 Mg ha<sup>-1</sup> de colmo com 3 meses de idade, dispostos em duas fileiras, de forma que a metade basal de um colmo coincidissem com a metade superior do outro. Após o plantio, os colmos foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida, se procedeu a pulverização do sulco e das sementes com cupinicida e posterior fechamento do sulco.

Aos 221 dias após a aplicação do gesso agrícola mineral foram coletadas amostras de solo na área útil das parcelas experimentais nas profundidades 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m, com o auxílio de enxadeco e pá reta. As perfurações para obtenção das amostras foram feitas a aproximadamente 0,25 m de distância da linha de plantio do capim elefante, sendo coletadas 5 amostras simples por parcela para formação de uma composta, dispostas em duas diagonais cruzadas na área útil. Posteriormente, as amostras de solo coletadas foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de malha de 2 mm; em seguida, procedeu-se à determinação do pH (H<sub>2</sub>O), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Os métodos utilizados foram os mesmos descritos anteriormente na caracterização química da área experimental. Foram calculadas as relações Ca/Mg e Ca/K e a saturação por Al.

Os dados das variáveis de solo foram submetidos à análise da variância pelo teste F (p<0,05), separadamente para cada profundidade. Foi calculada a efetividade dos blocos segundo Silva & Silva (1999). Nas variáveis cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, se aplicou o teste de médias de Scott & Knott (p<0,05). O pacote estatístico utilizado foi o SAEG (SAEG,1999).

## **Resultados e Discussão**

O cálculo da efetividade dos blocos para as variáveis analisadas apresentaram valores maiores que 1, o que demonstra que as variáveis foram influenciadas pelo delineamento em blocos, coerente com o planejamento experimental de distribuição dos tratamentos em campo.

Os teores de Ca no solo na camada superficial não foram influenciados nem pela aplicação de gesso agrícola mineral e nem pelo cultivo das variedades de capim elefante (Tabela 2). O Ca adicionado ao solo pelo gesso, provavelmente, foi lixiviado para

camadas mais profundas pela solubilização do material, facilitada pelos elevados índices pluviométricos que ocorreram logo após a aplicação do gesso (Figura 1). Há uma elevação nos teores de Ca do solo na camada superficial com o cultivo do capim elefante em relação aos teores iniciais (Tabela 1), independente da aplicação do gesso agrícola mineral, provavelmente resultante da adição de Ca proveniente do calcário, apesar de ter havido absorção de parte desse Ca pelas plantas.

Neste trabalho, uma importante fonte de Ca para o solo foi a aplicação de calcário, que proporcionou uma adição de  $0,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca na camada superficial, devido a aplicação de  $0,55 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário. Como os teores de Ca no solo se elevaram após o cultivo (Tabela 2), é provável, que o Ca adicionado pelo calcário tenha sido suficiente para atender a demanda das variedades de capim e tenha também se acumulado na camada superficial pela baixa solubilização deste material, que dificulta sua lixiviação, apesar dos elevados índices pluviométricos registrados no início do cultivo (Figura 1).

Contrariamente, mesmo o gesso agrícola mineral tendo sido também uma fonte adicional de Ca aplicada na camada superficial, ele não foi responsável pelo acúmulo de Ca nessa profundidade, provavelmente pela maior solubilidade do gesso, que proporcionou sua lixiviação, facilitada pela elevada umidade do solo no início do cultivo das variedades de capim (Figura 1). A diferença de solubilidade entre o calcário e o gesso, refletida pela distribuição de Ca no perfil do solo, pode ser observada nos trabalhos de Ramos *et al.* (2006), que ao estudarem a reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação, observaram que os teores de Ca aumentaram com a profundidade nas colunas que receberam gesso, enquanto que as que receberam calcário, apresentaram teores decrescente com a profundidade do solo; e de Caíres *et al.* (2003), ao avaliarem as alterações químicas do solo pelo calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto, que constataram que a aplicação de calcário dolomítico na superfície aumentou os teores de Ca e Mg trocáveis, notadamente na camada superficial do solo (0,0-0,05 m), e que a aplicação de gesso aumentou os teores de Ca trocável do solo até 0,6 m de profundidade.

Não foram observadas alterações significativas nos teores de Ca na camada 0,2 m a 0,4 m de profundidade com a aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 2). Mesmo com os teores de Ca na camada superficial indicando que tenha ocorrido lixiviação com a aplicação do gesso, o Ca não se acumulou na camada 0,2 m a 0,4 m de profundidade. Isto pode ter ocorrido devido aos elevados teores de areia do solo (Tabela 1), aliado ao fato de que após a aplicação do insumo ocorreram na região

elevadas precipitações pluviométricas (Figura 1), favorecendo a lixiviação de Ca para camadas mais profundas do perfil do solo.

O ensaio foi conduzido em LATOSSOLO AMARELO na Chapada do Araripe em Pernambuco e segundo a Embrapa (2006), os Latossolos são solos com pouca diferenciação de horizontes, com pouco ou inexpressivo incremento de argila, e normalmente muito profundos. Essas características aliadas a alta proporção de areia nas profundidades 0,0 a 0,2 m e 0,2 m a 0,4 m que corresponderam, respectivamente a 729,7 e 722,3 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1), sugerem que o Ca oriundo do gesso foi lixiviado para camadas inferiores às estudadas, principalmente pelas elevadas precipitações pluviométricas ocorridas após a aplicação do gesso (Figura 1).

O que também contribui para essa argumentação é que houve um acúmulo de Ca na camada subsuperficial quando se compara os teores iniciais de Ca (Tabela 1) com os teores aos 221 dias após o cultivo do capim elefante (Tabela 2), independente da aplicação de gesso, o que evidencia um arraste de Ca, mesmo quando não se aplicou gesso, ou seja, a precipitação foi tão intensa que, possivelmente, arrastou Ca até do calcário para subsuperfície, mesmo antes da solubilização do insumo. A percentagem do teor de Ca da camada subsuperficial é de 31% em relação à camada superficial antes da instalação do ensaio (Tabela 1), passando a ser de 40% após a aplicação dos tratamentos, independente da aplicação de gesso (Tabela 2), ou seja, só com a adição de calcário, mostrando movimentação de Ca do calcário, provavelmente devido as fortes chuvas ocorridas (Figura 1).

Outros pesquisadores ao trabalharem com gesso têm observado aumento no teor desse cátion em subsuperfície, porém em condições edafoclimáticas diferentes as deste trabalho, em especial, o teor de argila. Segundo Ernani *et al.* (2001) em ensaio conduzido em casa de vegetação, em amostras de LATOSSOLO e CAMBISSOLO, com respectivamente 550 e 410 g kg<sup>-1</sup> de argila, o gesso percolou Ca no perfil do solo, principalmente quando incorporado aos solos. Essas amostras ficaram incubadas por 30 dias com umidade de aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo, e posteriormente em colunas de lixiviação receberam 300 mm de água. De acordo com Rocha *et al.* (2008) o intervalo de 30 dias após a aplicação de gesso mineral foi suficiente para elevar os teores de Ca em profundidade, mesmo sendo o gesso aplicado a lanço e sem incorporação, em LATOSSOLO AMARELO distrocoeso típico com teor de argila variado de 486 a 686 g kg<sup>-1</sup> até 0,6 m de profundidade, considerando que durante o ensaio a precipitação pluviométrica acumulada foi de 2.883 mm. Segundo Caíres *et al.* (2001), a aplicação de gesso aumentou significativamente os teores de Ca

trocável no perfil de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico cultivado com soja, sob precipitação pluvial de 764 mm, com respectivamente 220 e 585 g kg<sup>-1</sup> de argila e areia.

Tabela 2. Teor de cálcio, magnésio e potássio em solo cultivado com três variedades de capim elefante aos 221 dias após aplicação de gesso agrícola mineral nas profundidades 0,0 a 0,2 m e 0,2 m a 0,4 m, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Ca		Média	Mg		Média	K		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									
Profundidade 0,0 – 0,2 m									
Capim									
Cameroon	1,39	1,37	1,38a	1,06	0,83	0,95a	0,31	0,23	0,27a
Gramafante	1,07	1,50	1,29a	0,70	0,47	0,59a	0,24	0,20	0,22a
Roxo	1,33	1,24	1,29a	0,66	0,82	0,74a	0,19	0,20	0,20a
Média	1,26A	1,37A		0,81A	0,71A		0,25A	0,21A	
		F			F			F	
Capim		0,41 <sup>ns</sup>			3,07 <sup>ns</sup>			3,38 <sup>ns</sup>	
Gesso		1,12 <sup>ns</sup>			0,76 <sup>ns</sup>			2,63 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		2,45 <sup>ns</sup>			1,10 <sup>ns</sup>			1,25 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		19,12			38,81			25,20	
Profundidade 0,2 m – 0,4 m									
Capim									
Cameroon	0,49	0,68	0,59a	0,44Aa	0,21Bc	0,33	0,14	0,14	0,14a
Gramafante	0,44	0,44	0,44a	0,25Ab	0,30Ab	0,28	0,14	0,18	0,16a
Roxo	0,58	0,51	0,55a	0,25Bb	0,34Aa	0,30	0,14	0,11	0,13a
Média	0,50A	0,54A		0,31	0,28		0,14A	0,14A	
		F			F			F	
Capim		2,97 <sup>ns</sup>			0,57 <sup>ns</sup>			0,00 <sup>ns</sup>	
Gesso		0,54 <sup>ns</sup>			0,52 <sup>ns</sup>			0,63 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		1,98 <sup>ns</sup>			5,27*			0,35 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		25,16			33,39			42,77	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de Ca no solo na camada 0,0 a 0,2 m de profundidade não variou com o cultivo das diferentes variedades de capim elefante (Tabela 2), evidenciando que a absorção de Ca do Cameroon, Gramafante e Roxo foi semelhante, como foi observado nos valores de extração de Ca das variedades Cameroon e Gramafante aos oito meses de cultivo por Quesada (2005), calculados com base no teor e produção de matéria seca. O teor de Ca no solo antes do cultivo do capim (Tabela 1) é cerca de 30% inferior ao teor de Ca após o cultivo (Tabela 2). Com a aplicação de calcário se acrescentou mais 57% do Ca que havia disponível no solo, corroborando com a afirmação de que o Ca adicionado pelo calcário é a principal fonte do nutriente para as plantas nas camadas superficiais (SORATTO & CRUSCIOL, 2008), evidenciando a importância desse insumo não só para a correção dos solos ácidos, mas também como a principal fonte de adição desse nutriente ao solo.

Na camada subsuperficial o teor de Ca no solo também não variou com cultivo das diferentes variedades de capim elefante (Tabela 2), mostrando também que mesmo tendo havido absorção de Ca nessa camada, houve acúmulo do elemento em relação aos teores antes do cultivo (Tabela 1), corroborando com a indicação de que houve lixiviação de Ca proveniente da camada superficial do solo.

A aplicação de gesso agrícola mineral não provocou redução do teor de Mg na camada superficial (Tabela 2), o que significa que para essa dose aplicada não há lixiviação de Mg com a movimentação do gesso para camadas mais profundas do perfil do solo. Inalterações no teor de Mg em superfície, como as verificadas neste trabalho foram encontradas também por Rajj *et al.* (1998) em trabalho realizado em LATOSSOLO álico cultivado com milho, e por Rocha *et al.* (2008) ao avaliar a melhoria do ambiente radicular da cultura da cana-de-açúcar sob doses crescentes de gesso mineral.

O cultivo das diferentes variedades de capim elefante utilizadas no ensaio não afetou os teores de Mg do solo (Tabela 2). No entanto, se observou que aos 221 dias após o cultivo houve elevação dos teores de Mg do solo antes do cultivo (Tabela 1), indicando que apesar da absorção de Mg pelas variedades de capim elefante, houve acúmulo de Mg na camada superficial do perfil, provavelmente porque o calcário dolomítico aplicado ao solo adicionou Mg, que foi suficiente para satisfazer a absorção requerida pelas variedades, e ainda, permanecer residualmente na camada superficial, corroborando com a pequena movimentação do calcário no perfil do solo e a incapacidade do gesso mineral lixiviar Mg para camadas subsuperficiais, na magnitude da dose aplicada nesse trabalho.

Diferentemente do comportamento apresentado pelo teor de Ca, na camada subsuperficial (Tabela 2) não há acúmulo de Mg em relação ao teor inicialmente encontrado (Tabela 1). Se constata, de maneira geral, uma redução do teor de Mg nessa camada, provavelmente decorrente da absorção das plantas. Com isso se evidencia que apesar do acúmulo de Mg detectado na camada superficial (Tabela 2) não houve lixiviação do elemento para camadas mais profundas do perfil do solo.

Analisando os teores de Mg na camada subsuperficial, constatou-se que o teor de Mg nessa camada variou com o uso do gesso agrícola mineral e essa variação foi dependente da variedade de capim elefante cultivada e vice-versa (Tabela 2). Quando se aplicou gesso, o teor de Mg variou significativamente com o cultivo de capim Cameroon e Roxo e não se alterou com o cultivo do capim Gramafante. Com a aplicação do gesso, o teor de Mg no solo cultivado com capim Cameroon foi maior do que quando não se aplicou o insumo. No capim Roxo, esse comportamento se inverteu, ou seja, detectou-se mais Mg no solo quando não se aplicou gesso. Provavelmente, a descida do Ca com a aplicação do gesso agrícola mineral, inibiu a absorção de Mg pelo capim Cameroon, não interferiu na absorção de Mg do Gramafante e facilitou a absorção desse nutriente no capim Roxo. A maior absorção de Mg quando foi aplicado gesso, pode ser fruto do mesmo evento observado por Caíres *et al.* (2001, 2004), porém com o K, e pela preferência por Ca apresentada pelas variedades. Segundo esses autores é possível que esse efeito esteja relacionado com a liberação de K dos sítios de troca para a solução do solo, dependendo do aumento nos teores de Ca trocável. Eles constataram maior absorção de K pela cevada e pelo milho.

Quando se analisa o teor de Mg na camada subsuperficial em função do cultivo das diferentes variedades de capim elefante, influenciadas pela presença ou ausência de gesso agrícola mineral (Tabela 2), constatou-se que na presença de gesso o cultivo do capim Cameroon foi responsável pelos maiores teores de Mg do solo e diferiram dos teores de Mg encontrados quando do cultivo dos capins Gramafante e Roxo. Na ausência de gesso, os dados do teor de Mg se inverteram, ou seja, o cultivo do capim Cameroon passou a ser responsável pelos menores teores de Mg, quando comparados ao Gramafante e Roxo, sugerindo que a absorção de Mg pelo Cameroon é afetada pela presença de Ca. Inversamente, essa mesma presença de Ca parece facilitar a absorção de Mg no capim Roxo. Como já citado anteriormente, este fato foi observado por Caíres *et al.* (2001, 2004) em função da liberação de Mg dos sítios de adsorção pelo aumento do teor de Ca trocável, e pela diferença na preferência da absorção de nutrientes entre as variedades.

O teor de K no solo na camada superficial também não sofreu variação com a aplicação do gesso agrícola mineral (Tabela 2), significando que essa dose aplicada não ocasionou translocação de K da camada superficial, mantendo o K ao alcance da maioria das raízes efetivas das plantas. Conforme aconteceu também com os teores de Mg na camada superficial, os teores de K se elevaram em relação aos teores iniciais (Tabela 1). Como há cultivo de capim sobre esse solo, provavelmente, a adição de K por meio da adubação foi suficiente para atender a demanda das plantas, sem reduzir os teores originalmente encontrados no solo e, ainda, promover acúmulo residual de K na camada superficial, corroborando também com a incapacidade do gesso agrícola mineral lixiviar K para camadas mais profundas do perfil do solo, principalmente em doses mais reduzidas de gesso.

Em superfície e subsuperfície, nem a aplicação de gesso e nem o cultivo das diferentes variedades de capim elefante interferiram no teor de K do solo (Tabela 2), evidenciando uma semelhante capacidade de absorção sem diferenciação na extração. Esses resultados corroboram com os encontrados por Caíres *et al.* (2004), que ao analisarem as alterações químicas de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico textura argilosa e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso, observaram que os teores de K trocável no solo não foram influenciados significativamente pela aplicação das doses de gesso. Zambrosi *et al.* (2007), quando avaliaram diferentes doses de gesso em LATOSSOLO VERMELHO distrófico sob o sistema de rotação de culturas, também não constataram lixiviação de K. Segundo Gancedo (2006) a aplicação de gesso em um LATOSSOLO VERMELHO em ensaio em casa de vegetação não provocou alterações significativas nos teores de K do solo.

Quando se analisou os dados do teor de K antes da aplicação dos tratamentos, constatou-se que a percentagem do teor de K presente na camada subsuperficial correspondeu a cerca de 64% do teor de K presente na camada superficial. Após a aplicação do gesso agrícola mineral essa relação se reduziu para cerca de 58%, mostrando que não houve arraste de K da camada superficial para dentro do perfil do solo, apesar de ter havido acúmulo do elemento nessa camada (Tabela 2).

A relação entre os teores de Ca/Mg na camada superficial não foi influenciada pela aplicação do gesso agrícola mineral e pelo cultivo das diferentes variedades de capim elefante (Tabela 3). Esses dados evidenciam que não houve acúmulo de Ca decorrente da aplicação de gesso nessa camada, confirmando sua lixiviação para camadas mais profundas. Além disso, sugerem também que não houve arraste de Mg, fazendo com que a relação não altere-se na presença do gesso.



Tabela 3. Relações cálcio/magnésio, cálcio/potássio e teor de enxofre na forma de sulfato em solo cultivado com três variedades de capim elefante aos 221 dias após aplicação de gesso agrícola mineral nas profundidades 0,0 a 0,2 m e 0,2 m a 0,4 m, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Ca/Mg		Média	Ca/K		Média	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
Profundidade 0,0 – 0,2 m									
Capim									
Cameroon	1,42	1,79	1,60a	4,49	6,81	5,65a	12,96	8,29	10,62b
Gramafante	1,59	3,32	2,46a	4,79	7,75	6,27a	17,88	12,97	15,42a
Roxo	2,40	2,09	2,25a	7,23	6,30	6,76a	8,49	10,11	9,31b
Média	1,80A	2,40A		5,50A	6,9A		13,11A	10,46A	
		F			F			F	
Capim		1,78 <sup>ns</sup>			0,65 <sup>ns</sup>			8,82*	
Gesso		2,39 <sup>ns</sup>			3,32 <sup>ns</sup>			4,46 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		2,42 <sup>ns</sup>			2,29 <sup>ns</sup>			2,90 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		44,91			31,28			26,03	
Profundidade 0,2 m – 0,4 m									
Capim									
Cameroon	1,28Bc	3,25Aa	2,27	4,15	5,26	4,71a	11,80	11,55	11,68b
Gramafante	1,75Ab	1,78Ac	1,77	2,87	3,17	3,02a	18,26	16,03	17,15a
Roxo	3,00Aa	1,87Bb	2,44	4,36	4,49	4,42a	14,64	12,72	13,68b
Média	2,01	2,30		3,30A	4,31A		14,90A	13,43A	
		F			F			F	
Capim		1,15 <sup>ns</sup>			1,75 <sup>ns</sup>			8,94*	
Gesso		0,61 <sup>ns</sup>			0,41 <sup>ns</sup>			1,86 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		5,84*			0,15 <sup>ns</sup>			0,33 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		42,51			47,64			18,51	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Antes da instalação do ensaio, a relação Ca/Mg na camada superficial era de 1,4 (Tabela 1), ampliou-se para 1,8 na presença do gesso agrícola mineral e ampliou-se mais ainda na ausência de gesso, e foi para 2,4 (Tabela 3), sugerindo que o Ca adicionado pelo gesso e pelo calcário na presença de gesso foi lixiviado e o Ca

adicionado apenas pelo calcário manteve-se em superfície, quando não se aplicou gesso mineral.

Existem divergências entre diversos autores sobre qual é a relação Ca/Mg ideal para gramíneas. Rosolém *et al.* (1984), trabalhando com sorgo sacarino, não encontraram influência da relação Ca/Mg maior que 1 sobre a produção de matéria seca, mas, concluíram que esta relação menor que 7,4 deprimia a produtividade, em função das menores absorções de Ca e Mg. Oliveira (1993), estudando o rendimento da produção de matéria seca e nutrição do milho em função da relação Ca/Mg no solo, relata que variações de 1 a 12:1 na referida relação não afetaram o rendimento de matéria seca, revelando apenas uma tendência de aumento na produção de matéria seca com o aumento da relação Ca/Mg no solo.

Por outro lado, Arantes (1983), avaliando os efeitos de diferentes relações Ca/Mg (2:1; 5:1; 15:1; e 45:1) em dois níveis de corretivo (40 e 60%) na produção de matéria seca, nas concentrações de K, Ca e Mg e no equilíbrio catiônico da parte aérea do milho, concluiu que a relação Ca/Mg de 5:1 estabelecida no nível de 60% forneceu a maior produção de matéria seca, discordando de alguns autores que citam que a produção de matéria seca do milho não é influenciada pelas relações Ca/Mg. Segundo Munoz Hernandez & Silveira (1998), ao avaliarem a produção de matéria seca e a nutrição mineral do milho, observaram que as relações Ca/Mg maiores que 3:1 causaram quedas no crescimento e na produção das plantas, em razão do efeito antagônico do Ca na absorção de Mg. Medeiros *et al.* (2008), ao avaliarem a produção de matéria seca da cultura do milho, observaram que a medida que se elevou a relação Ca/Mg do corretivo aplicado ao solo, a produção seca se reduziu drasticamente. As maiores produções foram observadas nos valores de relação Ca/Mg até 4:1.

O cultivo das diferentes variedades de capim elefante não interferiu na relação dos teores de Ca/Mg do solo na camada superficial (Tabela 3). A tendência de estreitamento da relação Ca/Mg com o cultivo do capim Cameroon é devido ao acúmulo de Mg no solo decorrente desse cultivo (Tabela 2), provavelmente pela inibição da absorção de Mg em função da presença de Ca.

Os valores da relação entre os teores de Ca/Mg variaram em função da aplicação de gesso agrícola mineral na camada subsuperficial, sendo essa aplicação influenciada pelo cultivo das diferentes variedades de capim elefante e vice-versa (Tabela 3). Essa interação entre esses fatores nos valores da relação Ca/Mg são decorrentes da redução ou do acúmulo do teor de Mg nessa camada (Tabela 2). Como o Ca proveniente do gesso agrícola mineral parece inibir a absorção de Mg no capim Cameroon, esse

elemento se acumula no solo e é responsável pelo estreitamento da relação Ca/Mg. Ambigualmente, o Ca oriundo do gesso parece favorecer a absorção de Mg no capim Roxo, ampliando a relação Ca/Mg. Na ausência de gesso, o comportamento se inverte com o cultivo do Cameroon ampliando a relação Ca/Mg e o Roxo estreitando-a. O cultivo do capim Gramafante não altera a relação Ca/Mg na presença ou ausência de gesso agrícola mineral.

Na camada superficial não se observou alteração no valor da relação dos teores no solo de Ca/K nem quando se aplicou gesso mineral e nem quando se cultivou diferentes variedades de capim elefante (Tabela 3). Como se tem constatado que houve lixiviação de Ca da camada superficial com a aplicação de gesso agrícola mineral, sem arraste subsequente de K (Tabela 2), era de se esperar que o valor da relação Ca/K diminuísse com a aplicação de gesso. Isto não ocorreu, possivelmente devido à adição de Ca proporcionada pelo calcário que não lixiviou e não permitiu que houvesse alteração significativa na relação Ca/K. Por outro lado, na ausência de gesso agrícola mineral poderia se esperar aumento no valor da relação Ca/K pela adição de Ca oriundo do calcário, que pouco solubiliza, e não lixívia. Entretanto, como não houve movimentação de K para camadas mais profundas do perfil do solo e se adicionou K por meio da fertilização, isso fez com que não houvesse alteração da relação Ca/K.

Em relação ao cultivo das diferentes variedades de capim elefante, como não houve diferença nos teores de Ca e K no solo cultivado por essas variedades nas camadas superficial e subsuperficial (Tabela 2), a relação Ca/K também não foi alterada (Tabela 3).

Na camada subsuperficial também não se observou alteração da relação Ca/K na presença ou ausência de gesso agrícola mineral, nem quando se cultivou diferentes variedades de capim elefante (Tabela 3). O que se observou nessa camada foi uma diminuição da relação Ca/K em relação à camada superficial. Com isso pode-se inferir que, se o Ca lixiviado da aplicação do gesso tivesse se acumulado na camada subsuperficial, a relação Ca/K teria se ampliado e não se reduzido, uma vez que não houve arraste de K e, conseqüentemente, acúmulo do mesmo nessa profundidade. O que provavelmente ocorreu é que a lixiviação de Ca foi prolongada para camadas mais profundas do perfil do solo, provavelmente devido à intensa precipitação pluviométrica que atingiu a região em que o ensaio foi montado (Figura 1). Assim, os mais baixos teores de Ca da camada subsuperficial foram responsáveis pela redução da relação Ca/K.

O teor de  $S-SO_4^{2-}$  no solo não se alterou com a aplicação de gesso agrícola mineral nem mesmo na camada subsuperficial (Tabela 3). Como esse ânion é responsável pelo arraste de cátions para camadas mais profundas do perfil do solo, principalmente Ca, era de se esperar que ele não se acumulasse na camada superficial com a aplicação de gesso, como de fato ocorreu. No entanto, se esperava que tivesse ocorrido acúmulo de  $S-SO_4^{2-}$  na camada subsuperficial e os dados não detectaram isso. Provavelmente, como logo após a aplicação do gesso no sulco de plantio do capim elefante ocorreu no campo experimental uma elevada precipitação pluviométrica (Figura 1), favorecendo o arraste de  $S-SO_4^{2-}$  para camadas mais profundas, além de 0,4 m de profundidade. A análise dos dados dos teores de Ca no solo (Tabela 2) também mostra esse comportamento, corroborando para essa hipótese.

Há um crescimento no teor de  $S-SO_4^{2-}$  tanto em superfície como em subsuperfície (Tabela 3) em relação ao teor de  $S-SO_4^{2-}$  inicialmente encontrado no solo, quando de sua caracterização química (Tabela 1). Esse aumento no teor de  $S-SO_4^{2-}$  ocorreu independente da aplicação de gesso e deve-se, possivelmente, aos 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio utilizados como fonte de N na adubação nitrogenada.

Tanto em superfície, como em subsuperfície a variedade de capim elefante cultivada influenciou os teores de  $S-SO_4^{2-}$  do solo (Tabela 3). O teor de  $S-SO_4^{2-}$  foi maior quando se cultivou capim Gramafante em relação ao Cameroon e Roxo, independente da profundidade da camada estudada. Isso mostra que possivelmente algumas variedades apresentem preferências de absorção por  $S-SO_4^{2-}$ .

Na camada superficial, a aplicação de gesso agrícola mineral não influenciou o pH do solo (Tabela 4), coerente com sua migração para camadas mais profundas do perfil. Esse resultado corrobora com o encontrado por Soratto & Crusciol (2008), ao avaliarem atributos químicos do solo decorrentes da aplicação de calcário e gesso em sistema plantio direto. Mesmo que tivesse ocorrido acúmulo de gesso nessa camada, é provável que não tivesse ocorrido correção de pH, porque o anion que acompanha o Ca no gesso é o  $SO_4^{2-}$  que é oriundo de um ácido forte ( $H_2SO_4$ ) e, portanto, não pode ser receptor de prótons ( $H^+$ ). O que se poderia esperar era uma manutenção do pH inicial, ou seja, antes da aplicação do gesso, ou mesmo uma pequena diminuição decorrente dessa incapacidade do  $SO_4^{2-}$  como receptor de prótons. Como houve aplicação de calcário, observa-se um aumento de pH, independente da aplicação de gesso (Tabela 4), em relação aos valores iniciais da acidez na camada superficial (Tabela 1), justamente porque no Ca do calcário o ânion acompanhante é proveniente de um ácido fraco ( $H_2CO_3$ ) e, portanto, receptor de prótons.

Caíres *et al.* (1998) também não observaram mudanças significativas da acidez ativa em superfície de um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO distrófico textura média cultivado com soja pela aplicação de gesso na superfície.

O cultivo das diferentes variedades de capim elefante não influenciou o pH do solo na camada superficial (Tabela 4). Na absorção de Ca que se adicionou ao solo proveniente do calcário há liberação de  $H^+$  que é recepcionado pelos anions acompanhantes ( $OH^-$  e  $HCO_3^-$ ) fazendo com que o pH se eleve. Como em nenhuma das variedades a absorção de Ca foi diferenciada (Tabela 2) não houve excesso nem retração de liberação de  $H^+$  que pudesse influenciar na diminuição ou elevação do pH.

Na camada subsuperficial, a aplicação de gesso agrícola mineral diminuiu o pH do solo (Tabela 4). Assim, evidencia-se uma provável atuação do gesso nessa camada, mesmo não se tendo comprovado acúmulo de Ca (Tabela 2) nem de  $S-SO_4^{2-}$  (Tabela 3).

Quando o  $Ca^{2+}$  desloca o  $Al^{3+}$  do complexo de troca fazendo com que o  $Al^{3+}$  permaneça em solução, se não houver  $SO_4^{2-}$  suficiente para formação de  $Al(SO_4)^+$ , o excesso de  $Al^{3+}$  em solução poderá se hidrolizar e protonar formando os íons  $Al(OH)^{2+}$  e  $Al(OH)_2^+$ , liberando  $H^+$  em solução que não pode ser recepcionado pelo  $SO_4^{2-}$ , diminuindo o pH do solo.

Essa redução do pH na camada subsuperficial pela aplicação de gesso contraria os resultados encontrados por Caíres (2002, 2003, 2004 e 2006), mas foi observada por Ernani *et al.* (2001), ao avaliarem modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pela aplicação do insumo em colunas de lixiviação, e também atribuíram esse efeito a hidrólise do Al.

É possível que no tratamento em que se aplicou gesso, o Ca desse material, juntamente com o Ca do calcário, tenha migrado, mesmo que em pequena quantidade, não detectável pela análise estatística, para a camada subsuperficial, devido a elevada precipitação pluviométrica (Figura 1). Quando não se aplicou gesso e apenas calcário, a migração de Ca diminuiu, porque não havia Ca oriundo do gesso. Por outro lado, o  $SO_4^{2-}$ , possivelmente, foi mais lixiviado e migrou para camadas subsuperficiais mais profundas que 0,4 m de profundidade, independente da aplicação de gesso. Assim, o deslocamento de  $Al^{3+}$  que o  $Ca^{2+}$  provocou no tratamento com aplicação de gesso não encontrou  $SO_4^{2-}$  suficiente para a formação de  $Al(SO_4)^+$  e seu excesso provocou liberação de  $H^+$ , reduzindo o pH do solo nesta camada.

O pH do solo na camada subsuperficial foi alterado pelo cultivo das diferentes variedades de capim elefante (Tabela 4). A absorção de cátions básicos como Ca, Mg e K provocam extrusão de  $H^+$ . Se o pH do solo nessa camada foi alterado pelo cultivo

dessas plantas é porque houve uma considerável absorção de cátions que não se limitou a camada superficial. É possível que o sistema radicular dessas variedades de capim elefante tenha se expandido com o uso do gesso, favorecendo a absorção de cátions em subsuperfície. Os capins Gramafante e Roxo provocaram mais reduções no pH do solo do que o capim Cameroon (Tabela 4), possivelmente por uma maior expansão e eficiência de seus sistemas radiculares, tornando-os mais capazes de absorver em profundidade.

O que pode ter ocorrido também com o capim Cameroon é que, mesmo que ele tenha tido uma elevada absorção de cátions, sua absorção de  $S-SO_4^{2-}$  foi também elevada (Tabela 3), não permitindo redução no pH do solo. No entanto, após o cultivo do capim Cameroon os teores de Ca e Mg no solo foram sempre superiores aos encontrados após o cultivo dos capins Gramafante e Roxo (Tabela 2), evidenciando, possivelmente, uma menor absorção de cátions básicos pelo capim Cameroon.

A aplicação de gesso agrícola mineral não reduziu o teor de Al do solo nem em superfície nem em subsuperfície (Tabela 4). Como o gesso não atua na camada superficial era de se esperar que não houvesse alteração nos teores de Al nessa camada. No entanto, a redução do teor de Al em camadas mais profundas do perfil do solo é um dos principais objetivos do uso do gesso. Esse comportamento não foi observado nesse trabalho, provavelmente pela lixiviação do Ca para além dos 0,4 m de profundidade, pela intensidade da precipitação pluviométrica que ocorreu após a aplicação do gesso agrícola mineral.

Com a aplicação de gesso, há a formação de diversos complexos envolvendo o ânion  $SO_4^{2-}$ , dentre eles  $Al(SO_4)^+$  que teoricamente é Al não-trocável (ZAMBROSI *et al.* 2007). Por ainda apresentar carga, possivelmente esse complexo pode ficar adsorvido na micela do solo (mineral ou orgânica), e por ter apenas uma carga a atração eletrostática pela micela é pequena. Assim levanta-se a hipótese que o extrator utilizado para a determinação de Al trocável, que é uma solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, pode ter removido o complexo  $Al(SO_4)^+$  da micela do solo para o extrato e a titulação com NaOH ter incluído esse complexo como Al trocável, não permitindo que se avalie a atuação do gesso pela redução dos teores trocáveis de Al. No entanto, a formação do complexo  $Al(SO_4)^+$  é uma das conseqüências da atuação do gesso, porque o Al nessa forma não é tóxico e em regiões de elevada precipitação pode ser facilmente lixiviado para fora do alcance das raízes das plantas.

Tabela 4. Acidez ativa, alumínio trocável e saturação por alumínio no complexo de troca em solo cultivado com três variedades de capim elefante aos 221 dias após aplicação de gesso agrícola mineral nas profundidades 0,0 a 0,2 m e 0,2 m a 0,4 m, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	pH		Média	Al		Média	m		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
Profundidade 0,0 – 0,2 m									
Capim									
Cameroon	5,28	5,5	5,39a	0,21	0,26	0,24b	7,64	10,95	9,30b
Gramafante	5,20	5,18	5,19a	0,44	0,34	0,39a	18,02	13,68	15,85a
Roxo	5,18	4,93	5,05a	0,40	0,44	0,42a	15,58	16,49	16,03a
Média	5,22A	5,20A		0,35A	0,35A		13,75A	13,71A	
		F			F			F	
Capim		3,53 <sup>ns</sup>			4,45*			4,51*	
Gesso		0,03 <sup>ns</sup>			0,00 <sup>ns</sup>			0,00 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		1,73 <sup>ns</sup>			1,13 <sup>ns</sup>			1,17 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		4,90			33,57			37,24	
Profundidade 0,2 m – 0,4 m									
Capim									
Cameroon	4,53	5,03	4,78a	0,75	0,75	0,75a	40,61	41,64	41,12a
Gramafante	4,48	4,73	4,60b	0,83	0,80	0,82a	49,60	45,76	47,68a
Roxo	4,25	4,73	4,49b	0,86	0,79	0,83a	46,16	44,71	45,43a
Média	4,42B	4,83A		0,81A	0,78A		45,46A	44,04A	
		F			F			F	
Capim		4,15*			0,65 <sup>ns</sup>			2,79 <sup>ns</sup>	
Gesso		23,66*			0,28 <sup>ns</sup>			0,38 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		0,87 <sup>ns</sup>			0,13 <sup>ns</sup>			0,37 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		4,42			17,39			12,61	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Rocha *et. al.* (2008) também não encontraram alterações significativas nos teores de Al em superfície e subsuperfície pela aplicação de gesso mineral em solo cultivado com cana-de-açúcar, aos 30 e 480 dias após a aplicação, corroborando com os resultados deste trabalho.

Na camada subsuperficial, inversamente ao que se poderia esperar, os teores de Al no solo são maiores do que os inicialmente encontrados quando da caracterização química do solo (Tabela 1), principalmente no tratamento em que se aplicou gesso agrícola mineral (Tabela 4). Como houve uma redução do pH com a aplicação de gesso (Tabela 4), formas inativas de Al foram liberadas, provocando esse acréscimo em subsuperfície. Outra hipótese é que o  $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$  formado foi removido pelo extrator KCl e esse Al foi computado como Al trocável, como discutido anteriormente.

Outra hipótese para aumento desse Al em subsuperfície é que, como a aplicação de calcário não reduziu o teor de Al na camada superficial (Tabela 4) em relação aos teores originalmente encontrados no solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), o  $\text{Al}^{3+}$  deslocado pelo  $\text{Ca}^{2+}$  do calcário no complexo de troca da camada superficial pode ter lixiviado para a subsuperfície.

A saturação por Al também não foi influenciada pela aplicação de gesso agrícola mineral em nenhuma das camadas de solo estudadas (Tabela 4). Na gessagem se espera que o Ca migre para camadas mais profundas do perfil do solo e reduza a saturação por Al, ou seja, diminua sua participação na capacidade de troca de cátions efetiva do solo em profundidade. Especificamente neste trabalho, como se tem constatado que a elevada precipitação pluviométrica foi responsável por um arraste de Ca para além dos 0,4 m de profundidade, o gesso, provavelmente, não atuou efetivamente nessa camada de solo. Na camada superficial há uma redução na saturação por Al (Tabela 4) em relação à saturação inicialmente calculada antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), possivelmente, em função da adição de Ca oriunda do calcário que fez com que a capacidade de troca de cátions efetiva se elevasse, uma vez que não houve alteração nos teores de Al antes e após a aplicação de calcário (Tabela 1 e 4).

Resultados contrários a esses no teor e na saturação por Al foram encontrados por Silva *et al.* (1997), que relataram que a maior redução no teor de  $\text{Al}^{3+}$  pela aplicação de gesso foi de  $0,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , na maior dose utilizada  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$ , nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; e 0,4-0,6 m; porém observaram reduções de até 47,96 % na saturação por  $\text{Al}^{3+}$  com a aplicação da maior dose do insumo, na profundidade de 0,2-0,4 m.

O cultivo das diferentes variedades de capim elefante influenciou o teor e a saturação por Al na camada superficial do solo (Tabela 4), especificamente pelo comportamento do cultivo do capim Cameroon, que reduziu o teor e a saturação por Al do solo em superfície. A análise dos dados de pH demonstra que na camada superficial após o cultivo do Cameroon há uma tendência no aumento do pH, que se confirma estatisticamente na camada subsuperficial (Tabela 4), sugerindo que essa variedade de



capim elefante foi, possivelmente, extratora de Al. Assim, é provável que o pH do solo com o cultivo de capim Cameroon não tenha se reduzido pela retirada de Al que essa planta realizou, o que pode credenciá-la como uma variedade tolerante à acidez trocável do solo, podendo ser indicada para cultivo em solos ácidos e ricos em Al.

### **Conclusões**

Em virtude das características do solo, como o teor de argila, e das condições climáticas, elevada precipitação, ocorrida após a implantação do experimento, bem como a magnitude da dose aplicada de gesso, não foi possível detectar alterações nos teores de Ca, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al e de sua saturação;

Em função da lixiviação do Ca oriundo do gesso agrícola mineral, não foram observadas alterações nos teores de Mg e K em subsuperfície, porém houve redução do pH do solo com a aplicação do insumo;

O cultivo de capim Cameroon elevou o pH do solo em subsuperfície e reduziu o teor e a saturação por Al em superfície, indicando-se seu cultivo em solos ácidos da região do Araripe.

### **Referências Bibliográficas**

ABICHEQUER, A. D. *et al.* Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.373-378, 2003.

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L.E. **Enxofre**. Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 106p., 1994.

ALVAREZ V, V. H. *et al.* Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª aproximação. Viçosa-MG, 1999.

ALVAREZ, V.H. *et al.* **Determinação e uso do fósforo remanescente**. B. Inf. SBCS, Viçosa, v.25, n.1, p.27-32, 2000.

ALVAREZ, V. H. *et al.* **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 131p., 2001.

ANIOL, A. Induction of aluminum tolerance in wheat seedlings by low doses of aluminium in the nutrient solution. **Plant Physiol**, v.75; n.3, p.551-555, 1984.

ARANTES, E.M. **Efeitos da relação Ca:Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentrações de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico do milho (*Zea mays* L.)**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 62p., 1983.

CAÍRES, E. F. *et al.* Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAÍRES, E. F. *et al.* Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.

CAÍRES, E. F. *et al.* Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CAÍRES, E.F. *et al.* Alterações química do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAÍRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CAÍRES, E. F. *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Science Agricola**. (Piracicaba, Braz.), v.63, n.4, p.370-379, 2006.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. **Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 26 p., 2005.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral. **Cimento.** p.636-654, 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p., 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 306p., 2006.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : **Embrapa Informação Tecnológica**, 627 p., 2009.

ERNANI, P. R. *et al.*. Modificações Químicas em Solos Ácidos Ocasionalmente pelo Método de Aplicação de Corretivos da Acidez e de Gesso Agrícola. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.825-831, 2001.

GANCEDO, M. **Efeito do nitrogênio, calcário e gesso agrícola em alguns atributos de um latossolo e no desenvolvimento de gladiolo.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 74 p., 2006.

GUIMARÃES, P.C.T. O gesso agrícola na neutralização de alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: aplicações às culturas anuais e perenes. **In:** Seminário Sobre o uso do fosfogesso Na Agricultura, I, Anais. Brasília: IBRAFOS, p.145-168, 1985.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco.** Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., IPA, 198p., 2008.

KELTJENS, W. G. Plant adaptations and tolerance to acid soils. It's possible Al tolerance: A review. **In:** INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL

INTERACTIONS AT LOW PH, 1997, Viçosa. Proceedings... Viçosa: SBCS, Cap. 8, p.109-117, 1997.

MEDEIROS, J. *et al.* Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. Semina: **Ciências Agrárias**, v.29, n.4, p.799-806, 2008.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J. & SILVEIRA, R.I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Science agrícola**. [online]. v.55, n.1., 1998.

OLIVEIRA, E.L. de. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.6, p.383-388, 1993.

OLIVEIRA, M. C.; **Gramafante : uma nova cultivar de capim elefante para o Vale do São Francisco** / Martiniano Cavalcante de Oliveira . Petrolina , PE : Embrapa Semi-Árido, 14p., 2001.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 111p., 2000.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim elefante como potencial para uso energético**. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 76 p., 2005.

RAMOS, L. A. *et al.* Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

RAIJ, B. VAN *et al.* Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.101-108, 1998.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: I. Efeito no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e na produtividade de matéria seca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 8, p.63-68, 1994.

ROCHA, A. T. *et al.* Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.307-312, 2008.

ROSOLEM, C. *et al.* Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K, e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.12, p.1443-1448, 1984.

RUIZ, H. A. **Métodos de Análises Físicas do Solo**. UFV. 23p., 2004.

SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Manual do usuário, 138 p. (versão 8.0), 1999.

SALDANHA, E. C. M. *et al.* Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n. 1, p.36-42, 2007.

SILVA, N. M. *et al.* Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v.56, n.2, 1997.

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados a pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife, Imprensa Universitária da UFRPE, 309p., 1999.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.675-688, 2008.

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. **In:** JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. (Eds.). *Subsoil management techniques*. Athens: Lewis Publishers, p.147-185, 1995.

WADT, P. G. S. Alterações eletroquímicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.519-524, 2000.

ZAMBROSI, F. C.B. *et al.* Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, p.110-117, 2007.

## **Capítulo II**

**Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim elefante na presença de gesso mineral**

**Extraction and nutrient use efficiency in elephantgrass in the presence of mineral gypsum**

## Resumo

O cultivo de gramíneas de elevada produção de matéria seca pode ser uma alternativa viável de energia proveniente de biomassa, principalmente em regiões de elevada demanda energética como o Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco. Para realização de um adequado cultivo é necessário conhecer a composição mineral dessas plantas, que varia com uma série de fatores entre os quais se destaca o solo e as diferenças genéticas. Em solos ácidos, como os da Chapada do Araripe, é recomendável o uso de calcário e gesso, que podem interferir na composição mineral das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variação dos teores de nutrientes na folha +3 e na biomassa produzida por três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral, determinando-se a extração e a eficiência de utilização de Ca, Mg, K, P e S. Para isso, foram cultivadas em campo três variedades de capim elefante: Cameroon, Gramafante e Roxo na presença e ausência de gesso agrícola mineral em arranjo fatorial (3 x 2), com os tratamentos distribuídos casualmente em 4 blocos. O ensaio experimental foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Araripina/PE. Aos 128 dias após o plantio realizou-se coleta da folha +3 e aos 213, o corte e avaliação da produção de matéria seca, dos teores dos nutrientes, quantidade extraída e eficiência de utilização desses nutrientes pelas variedades Cameroon, Gramafante e Roxo. O capim elefante Cameroon foi mais exigente em Ca, K e P e o capim Gramafante em S. Os capins elefante Cameroon e Gramafante apresentaram elevadas produções de matéria seca, porém apenas a variedade Cameroon apresentou resposta à aplicação de gesso agrícola mineral, que alcançou 33 Mg ha<sup>-1</sup>. O capim elefante Gramafante pode ser recomendado para ambientes restritivos a disponibilidade de Ca e Mg e fértil em S.

**Palavras-chave:** nutrição vegetal, produção de biomassa vegetal, gipsita

## Abstract

Growing grass of high production of dry matter can be a viable source of alternative energy from biomass, mainly in regions of high energy demand as the Gypsum Pole of the Araripe in Pernambuco. To realization of adequate cultivation is necessary to know the mineral composition of these plants, that varies with a number of factors among which stands out the soil and genetic differences. In acidic soils, as the soil of plain of the Araripe, it is recommend the use of lime and gypsum, which can interfere with the mineral composition of plants. Thus, the aim of this study was to evaluate the variation of nutrient content in leaf +3 and also biomass of three varieties of elephantgrass in the presence and absence of mineral gypsum by determining the extraction and utilization efficiency of Ca, Mg, K, P and S. The experiment was composed of three varieties of elephantgrass: Cameroon, Gramafante and Roxo in the presence and absence of mineral gypsum in a factorial arrangement (3 x 2), with treatments arranged in 4 randomized blocks. The research was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco, in Araripina/PE. At 128 days after planting was held collection of leaf +3 and 213, cutting and evaluation of production of dry matter, the levels of nutrients, extracted amount and efficiency of utilization of these nutrients by varieties Cameroon, Roxo and Gramafante. The Cameroon elephantgrass was more demanding in Ca, K and P and the Gramafante grass by S. The Cameroon and Gramafante elephantgrass had high dry matter yields. The Cameroon variety that produced 33 Mg ha<sup>-1</sup> was influenced by the application of mineral gypsum. The Gramafante



elephantgrass can be recommended for restrictive environments the availability of Ca and Mg and rich in S.

**Key words:** plant nutrition, plant biomass production, gypsite

### **Introdução**

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) está entre as espécies de alta eficiência fotossintética, o que resulta em grande capacidade de acumulação de matéria seca. Sendo nativo da África tropical, desenvolve-se bem desde o nível do mar até mais de 2.000 m de altitude, em temperaturas que podem variar de 18 a 30 °C e precipitação anual de 800 a 4.000 mm (JACQUES *et al.*, 1997).

O potencial produtivo dessa *Poaceae*, associado a outras características forrageiras favoráveis, tais como boa qualidade, palatabilidade, vigor e persistência, tem estimulado o seu cultivo para utilização sob pastejo e para capineiras em todo o Brasil (SOBRINHO *et al.*, 2005).

Nesse sentido, vários autores (QUEIROZ FILHO *et al.*, 2000; MELLO *et al.*, 2002; QUESADA *et al.*, 2003) têm trabalhado com capim elefante avaliando sua produtividade e qualidade. Santos *et al.* (2003), ao avaliarem a produtividade de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco, encontraram produção de matéria seca de 26,15 até 36,75 Mg ha<sup>-1</sup> em seis cortes de capim elefante, em intervalos de 35 dias. Quesada *et al.* (2001), avaliando adubação verde em capim elefante, encontraram produtividades de até 80 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca em um único corte, aos 7 meses após o plantio.

A elevada capacidade de produção de matéria seca credencia o capim elefante como biomassa alternativa para produção energética no Sertão do Araripe, minimizando o uso da vegetação nativa do Bioma Caatinga para calcinação de gipsita numa região de elevada demanda energética. Para isso é necessário pesquisar as relações nutricionais do cultivo do capim elefante na região do Araripe, principalmente por tratar-se de solos ácidos que exigem correção com calcário em superfície e gesso em subsuperfície.

A composição mineral de espécies forrageiras varia com uma série de fatores, entre os quais se destacam: solo e adubações realizadas, diferenças genéticas entre espécies, variedades, estações do ano e intervalo de cortes (ANDRADE *et al.*, 2000). Avalhaes *et al.* (2009) encontraram 66,3; 2,4; 2,6; 9,3; 1,9; e 24,5 g kg<sup>-1</sup>, de K, Ca, Mg, P, S e N respectivamente, em biomassa produzida pelo capim elefante cultivado em solução nutritiva.

As deficiências nutricionais limitantes ao estabelecimento e produção de capim elefante têm sido associadas a fatores relacionados com acidez do solo, particularmente toxidez de Al, baixa disponibilidade de Ca e Mg e deficiência de P (QUESADA, 2005). Nesse contexto está concentrado grande parte dos solos da Chapada do Araripe. Em geral são Latossolos que apresentam limitações agrícolas pelos elevados índices de acidez, tanto em superfície como em subsuperfície (CAVALCANTI & LOPES, 1994).

Por ser uma forrageira de alta produção, deve-se considerar que sua exigência nutricional está relacionada com o potencial produtivo. Desta forma, vê-se a necessidade de se efetuar as devidas correções químicas do solo, a fim de se alcançar a máxima eficiência agrônômica do cultivo.

Em muitas regiões do Brasil, elevados teores de Al (PAVAN *et al.*, 1982) e baixo teor de Ca (RITCHEY *et al.*, 1982) nos solos vêm a ser fatores limitantes para a produção de diversas culturas. A calagem é a prática mais eficiente na elevação do pH e dos teores de Ca à quantidades satisfatórias, porém devido a baixa solubilidade do calcário, a sua ação é limitada à área de aplicação, não alcançando a subsuperfície. Assim, é comum a utilização da gessagem para a correção de teores tóxicos de Al ou para a elevação do teor de Ca em profundidade, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular, possibilitando que a planta alcance às reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do perfil do solo (SUMNER *et al.*, 1986).

O gesso é o insumo utilizado na gessagem, podendo ser originado da produção do ácido fosfórico, com o nome de fosfogesso (SALDANHA *et al.*, 2007) ou oriundo de depósito prevalente sedimentar associado a depósitos evaporíticos (DNPM, 2010). O gesso produzido no Pólo Gesseiro do Araripe é o próprio mineral gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) triturado.

O uso do gesso produzido na própria região do Araripe pode potencializar a produção de matéria seca do capim elefante por sua atuação na correção da acidez trocável em subsuperfície, proporcionando maior quantidade de biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia alternativa no processo de calcinação da gipsita na indústria gesseira do Araripe. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar o efeito do gesso mineral no estado nutricional, na composição mineral, na produção de biomassa, na extração e eficiência de nutrientes de diferentes variedades de capim elefante na Chapada do Araripe em Pernambuco.

## Material e Métodos

Para avaliar o efeito do gesso mineral, que doravante será chamado de gesso agrícola mineral, em solo cultivado com diferentes variedades de capim elefante, conduziu-se, no período de janeiro a setembro de 2010, um experimento de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada a 694 km do Recife, com coordenadas geográficas 07°27'37'' S e 40°24'36'' W e altitude de 831 m, em um solo classificado como LATOSSOLO AMARELO (CAVALCANTI & LOPES, 1994). A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, tendo o período chuvoso com início em novembro e término em abril, e a precipitação média anual é de 431,8 mm (CPRM, 2005). Durante o ensaio experimental a precipitação pluviométrica foi de 350,2 mm (Figura 1).

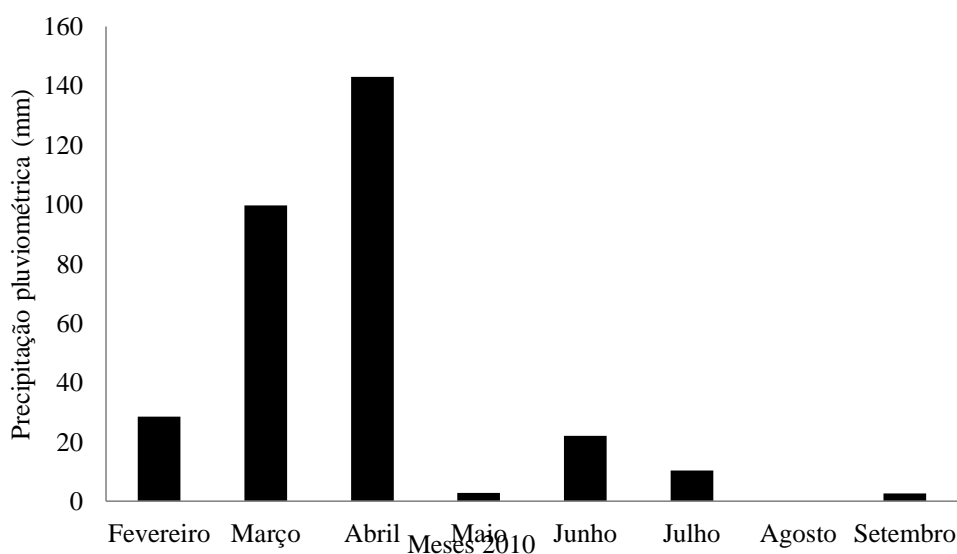


Figura 1. Pluviometria durante o ensaio experimental na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Araripina/PE.

A caracterização química e física do solo (Tabela 1) foi realizada em duas profundidades (0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m), onde se determinou pH (H<sub>2</sub>O), pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, (H+Al), P, COT (Carbono Orgânico Total), S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e P-remanescente (P-rem). O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; o P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> com Mehlich-1; e o (H+Al) com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, conforme EMBRAPA (2009). O S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível foi extraído com fosfato de cálcio em água (ALVAREZ V. *et al.*, 2001) e a capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS) foi determinada conforme metodologia descrita por

Alvarez V. *et al.* (2001). O  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , o  $\text{Al}^{3+}$  e o (H+Al) foram determinados por titulometria; o  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  por fotometria de chama; o P por colorimetria; o  $\text{S-SO}_4^{2-}$  por turbidimetria (ALVAREZ V. *et al.*, 2001); o COT por combustão úmida com dicromato de K (EMBRAPA, 2009); e o P-rem segundo metodologia descrita por Alvarez *et al.* (2000). Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria para definição de sua classe textural; densidade do solo pelo método da proveta; densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; condutividade hidráulica; e indiretamente, a porosidade total. Com exceção da granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta adaptado por Ruiz (2004), todas as demais análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Foram utilizadas três variedades de capim elefante (Roxo, Cameroon e Gramafante), submetidas a dois níveis de gesso mineral 0 e 100%, que correspondeu as doses de 0 e  $494 \text{ kg ha}^{-1}$ , calculadas segundo Alvarez *et al.* (1999). O ensaio foi disposto casualmente em 4 blocos, compondo um fatorial  $3 \times 2$ , totalizando 24 unidades experimentais. A parcela foi composta por sete sulcos de 6 m de comprimento e espaçados por 1 m, perfazendo uma área total de  $42 \text{ m}^2$ . A área útil foi formada pelas 3 linhas centrais descartando 1 m das extremidades, totalizando  $12 \text{ m}^2$ .

O experimento foi instalado no início das chuvas (Figura 1), sendo precedido pela aplicação de calcário dolomítico em área total, calculado para correção da camada 0,0 a 0,2 m de profundidade (Tabela 1), cuja Necessidade de Calagem (NC) foi estimada pelo método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg (IPA, 2008). Assim, calculou-se uma dose de calcário que correspondeu a  $0,550 \text{ Mg ha}^{-1}$ , que foi incorporada com grade de discos em todas as parcelas experimentais oito dias antes do plantio.

A dose correspondente ao nível de 100% de gesso foi calculada de acordo com o resultado da NC da camada 0,2 a 0,4 m de profundidade (Tabela 1), utilizando-se o método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg (IPA, 2008). De acordo com Alvarez *et al.* (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada do solo em subsuperfície que se deseja corrigir. No caso deste trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2 a 0,4 m de profundidade, cuja dose de gesso correspondeu a  $0,495 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O gesso foi aplicado no fundo do sulco de plantio, de 0,3 m de profundidade.

Todas as parcelas receberam adubação com N, P e K, de acordo com as Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) e com os resultados das análises da caracterização química do solo (Tabela 1). Desta forma, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, 286 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de K. O superfosfato triplo foi aplicado todo em fundação, e os demais 1/3 em fundação e 2/3 em cobertura, 70 dias após o plantio.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m na área do ensaio de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônômico de Pernambuco em Araripina/PE

Atributo	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4
pH água (1:2,5)	4,85	4,54
pH CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	3,30	3,40
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,95	0,30
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,68	0,38
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,14	0,09
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,23	0,24
P (mg dm <sup>-3</sup> )	4,00	1,00
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	62,95	58,28
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37	0,70
(H + Al) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,74	3,27
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,37	1,71
m (%) <sup>3</sup>	15,49	40,90
PST (%) <sup>4</sup>	3,95	5,49
COT (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	8,1	5,2
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	1,83	0,69
CMAS (mg g <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	0,012	0,018
Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	729,75	722,28
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	569,81	551,49
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	159,94	170,79
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	133,88	143,75
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	136,38	133,97
Classe Textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Dp (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	2,99	2,98
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>8</sup>	1,43	1,41
PT (%) <sup>9</sup>	52,26	52,64
K <sub>0</sub> (mm h <sup>-1</sup> ) <sup>10</sup>	65,24	92,83

<sup>1</sup> Fósforo remanescente; <sup>2</sup> Capacidade de troca de cátions; <sup>3</sup> Saturação por alumínio; <sup>4</sup> Porcentagem de sódio trocável; <sup>5</sup> Carbono orgânico total; <sup>6</sup> Capacidade máxima de adsorção de sulfato; <sup>7</sup> Densidade da partícula; <sup>8</sup> Densidade do solo; <sup>9</sup> Porosidade total; <sup>10</sup> Condutividade hidráulica saturada.

Oito dias após a aplicação do gesso agrícola mineral foi realizado o plantio das variedades de capim elefante. Foram utilizadas 4 Mg ha<sup>-1</sup> de colmo com 3 meses de idade, dispostos em duas fileiras, de forma que a metade basal de um colmo coincidissem com a metade superior do outro. Após o plantio, os colmos foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida, se procedeu a pulverização do sulco e das sementes com cupinicida e posterior fechamento do sulco.

Aos 128 dias após o plantio realizou-se a coleta da folha índice de dez plantas na parcela útil. Considerou-se como folha índice a folha +3 (IPA, 2008). As referidas folhas tiveram sua nervura central e extremidades removidas e posteriormente, o limbo foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram moídas e armazenadas em sacos plásticos.

O corte e a avaliação das variedades de capim elefante foram realizados aos 213 dias após o plantio. Foram coletadas 10 plantas aleatoriamente na parcela útil, sendo posteriormente pesadas e trituradas em forrageira. Em seguida, retirou-se uma subamostra, que também teve seu peso registrado, para ser seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, e obtenção da massa seca e umidade. Com base no número de perfilhos por metro linear foi possível estimar a produção da parcela útil, corrigindo as falhas da brotação do material utilizado no plantio.

Foi realizada digestão nitro-perclórica das amostras de folha +3 e na biomassa produzida pelas diferentes variedades de capim elefante. Em seguida, foram determinados os teores de Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica; K por fotometria de chama; P por colorimetria; e S por turbidimetria. Todas as determinações seguiram os procedimentos recomendados pela EMBRAPA (2009). Com os teores de nutrientes na folha +3 foi possível avaliar o estado nutricional das diferentes variedades de capim elefante. Com o teor dos nutrientes em toda a biomassa e a produção de matéria seca foi calculada a quantidade extraída de nutrientes pelas variedades de capim elefante. Com a quantidade de matéria seca produzida e a quantidade de nutriente extraído do solo, foi calculada a eficiência nutricional de cada nutriente nas diferentes variedades de capim elefante.

Os dados das variáveis de planta foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), sendo calculada a efetividade dos blocos segundo Silva e Silva (1999). Nas variáveis cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, se aplicou o teste de médias de Scott & Knott, ( $p < 0,05$ ). Foram realizadas regressões da produção de matéria seca das variedades de capim elefante em função do teor do nutriente na folha +3. O pacote estatístico utilizado foi o SAEG (SAEG, 1999).

## Resultados e discussão

O cálculo da efetividade dos blocos para as variáveis analisadas apresentou valor maior que 1, o que demonstra que as variáveis foram influenciadas pelo delineamento em blocos, coerente com o planejamento experimental de distribuição dos tratamentos em campo.

Tomando por base os valores de referência do estado nutricional de gramíneas forrageiras (EMBRAPA, 2009), os teores de Mg e K desse trabalho estão dentro dos valores recomendados e os de Ca acima (Tabela 2), independente da aplicação de gesso agrícola mineral ou da variedade de capim elefante. Mesmo com os teores iniciais disponíveis do solo baixos (Tabela 1), a adição considerável de Ca pela calagem e gessagem, pode justificar os elevados valores de referência para esse nutriente nas plantas de capim elefante.

Contrariamente ao que se verificou para Ca, os teores iniciais de K do solo são intermediários (Tabela 1), principalmente na camada superficial. O Manual de Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco considera como teores intermediários de K no solo valores entre de 0,12 e 0,23  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para capim elefante (IPA, 2008). Nesse trabalho o teor de K encontrado inicialmente foi de 0,14  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada superficial (Tabela 1). Adicionalmente foi aplicado ao solo 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de cloreto de K, que elevou os teores iniciais, proporcionando adequado teor de K na folha +3. Os teores iniciais de Mg na camada superficial do solo são adequados ao desenvolvimento do capim elefante (Tabela 1), considerando como 2  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  o teor ideal de Ca+Mg e, 4:1 a relação dos teores de Ca e Mg. Assim, a adição do calcário dolomítico adicionou Mg ao solo e manteve seu nível adequado para a cultura.

Os teores de Ca, Mg e K na folha +3 do capim elefante não foram influenciados pela aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 2). Com isso se pode constatar que não houve acúmulo de Ca no solo com a aplicação de gesso suficiente para influenciar o estado nutricional desse nutriente nas plantas de capim elefante. Pôde-se observar ainda que a adição de Ca pela gessagem, aliada a uma possível lixiviação de Mg e K pela ação do gesso não foram suficientes para interferir na nutrição desses nutrientes no capim elefante.

Rocha (2007) trabalhando com aplicação de diferentes doses de gesso agrícola mineral na cultura da cana-de-açúcar também não encontrou diferenças significativas no teor de Ca, Mg e K na folha +3 aos 150 dias após o plantio.

Os teores de Ca na folha +3 mostraram-se diferentes nas variedades de capim elefante (Tabela 2). O maior teor foi observado na variedade Gramafante, que

apresentou 19,15 g kg<sup>-1</sup> de Ca, sendo estatisticamente diferente das variedades Roxo e Cameroon, que apresentaram 16,11 e 15,34 g kg<sup>-1</sup> de Ca, respectivamente, e semelhantes entre si.

Tabela 2. Teor de cálcio, magnésio e potássio na folha +3 em três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 128 dias após o plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Cálcio		Média	Magnésio		Média	Potássio		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
g kg <sup>-1</sup>									
Capim									
Cameroon	16,70	13,99	15,34b	1,54	1,80	1,67a	22,69	26,98	24,83a
Gramafante	20,49	17,81	19,15a	1,58	1,92	1,75a	22,07	25,07	23,57a
Roxo	15,70	16,52	16,11b	1,69	1,51	1,60a	27,05	27,10	27,07a
Média	17,63A	16,11A		1,60A	1,75A		23,94A	26,38A	
		F			F			F	
Capim		10,40*			0,29 <sup>ns</sup>			1,04 <sup>ns</sup>	
Gesso		4,45 <sup>ns</sup>			0,86 <sup>ns</sup>			1,49 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		2,63 <sup>ns</sup>			1,12 <sup>ns</sup>			0,39 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		10,47			22,42			19,51	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Buscando encontrar uma relação entre o estado nutricional das variedades de capim elefante e a produção de matéria seca, constatou-se uma relação significativa da produção do capim Cameroon em função do teor de Ca na folha +3 (Figura 2), evidenciando a importância de uma adequada nutrição de Ca para potencializar a produção de matéria seca desse capim, sugerindo a recomendação da utilização de gesso agrícola mineral como insumo num programa de fertilização do solo com o objetivo de maximizar a produção de capim Cameroon. Especificamente para a região do Araripe em Pernambuco, em que há produção de gesso mineral por meio do Pólo Gesseiro do Araripe, o uso deste insumo como potencializador da produção de matéria seca no capim Cameroon é economicamente viável, principalmente pela importância do cultivo desse capim para a região, pela possibilidade de seu uso como fonte alternativa de energia, como combustível para a calcinação do próprio gesso que se destina, principalmente a indústria da construção civil do Nordeste.



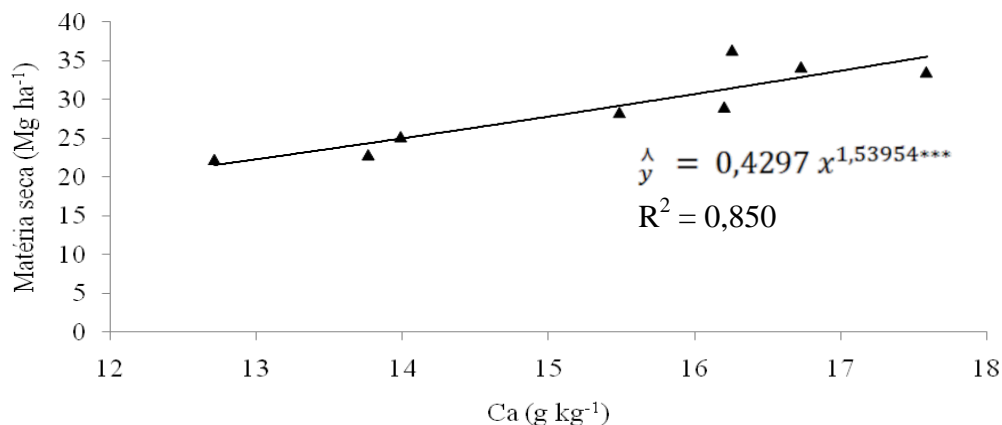


Figura 2. Produção de matéria seca de capim Cameroon em função do teor de cálcio na folha +3 aos 128 dias após o plantio. \*\*\* Regressão potencial significativa a 1% de probabilidade.

Os teores de P na folha +3 foram influenciados pela aplicação de gesso agrícola mineral, porém esse efeito dependeu da variedade de capim elefante (Tabela 3). Em todas as variedades os teores de P se situaram dentro da faixa recomendada pela EMBRAPA (2009) para gramíneas forrageiras, mesmo com os teores iniciais de P no solo sendo considerados baixos (Tabela 1), conforme IPA (2008). Essa é uma indicação de resposta satisfatória a aplicação de superfosfato triplo utilizado no ensaio.

Nos capins Gramafante e Roxo a aplicação de gesso proporcionou maiores teores de P na folha +3, provavelmente porque o P lábil do solo foi deslocado pelo  $S-SO_4^{2-}$  do gesso, tornando-o mais prontamente disponível, favorecendo sua absorção e interferindo positivamente na nutrição fosfatada. No capim Cameroon constatou-se que o teor de P na folha +3 foi menor nas plantas que receberam gesso agrícola mineral, contrariamente ao que ocorreu com os capins Gramafante e Roxo (Tabela 3). É provável que, mesmo tendo ocorrido deslocamento de P pelo  $S-SO_4^{2-}$  no solo, essa variedade tenha apresentado uma preferência de absorção de  $S-SO_4^{2-}$  em relação ao P. Pode ser um caso típico de interação competitiva entre íons em que o sistema transportador é quem define a preferência pelo transporte (SONDERGAARD *et al.*, 2004). Isso fica mais evidente quando se analisa os dados do teor de P na folha +3 das variedades na ausência de gesso, ou seja, quando se retira o adicional de  $S-SO_4^{2-}$  proveniente do gesso, o P passa a ser mais absorvido impactando no aumento de seu teor na folha +3, fazendo com que o capim Cameroon seja a variedade que mais apresente P na folha +3 na ausência de gesso (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de fósforo e enxofre na folha +3 em três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 128 dias após o plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Fósforo		Média	Enxofre		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
g kg <sup>-1</sup>						
Capim						
Cameroon	3,05Bc	3,94Aa	3,49	6,61	7,25	6,94a
Gramafante	3,40Ab	2,73Bc	3,07	6,77	6,39	6,58a
Roxo	4,01Aa	3,18Bb	3,60	6,10	5,12	5,61b
Média	3,49	3,28		6,50A	6,26A	
		F			F	
Capim		3,47 <sup>ns</sup>			4,08*	
Gesso		1,39 <sup>ns</sup>			0,39 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		9,90*			1,45 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		12,60			15,09	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de S na folha +3 das variedades de capim elefante ficaram cerca de duas vezes acima do teor recomendado para um adequado estado nutricional (Tabela 3), conforme EMBRAPA (2009). No ensaio utilizou-se 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio como fonte de N, impactando na maior disponibilidade de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo, favorecendo a absorção desse nutriente. Entretanto, a aplicação de gesso agrícola mineral não interferiu no teor de S na folha +3 nas variedades de capim elefante (Tabela 3). É provável que quantidade significativa de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tenha sido lixiviada para além dos 0,4 m de profundidade do perfil do solo em função das elevadas precipitações que ocorreram logo após a aplicação do gesso agrícola mineral (Figura 1). No entanto, a quantidade de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> remanescente que permaneceu no solo proporcionou uma diferenciação no teor de S da folha +3 nas diferentes variedades de capim elefante (Tabela 3). O Cameroon foi a variedade que mais acumulou S na folha +3, corroborando com a suposição de que essa variedade tem uma preferência de absorção pelo S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em relação a outros ânions, como o P, por exemplo.

De modo geral, o comportamento da produção de matéria fresca foi semelhante ao de produção de matéria seca nas diferentes variedades de capim elefante (Figura 3A

e 2B). As maiores produções foram observadas nas variedades Cameroon e Gramafante, que por sua vez foram influenciadas pela aplicação de gesso agrícola mineral.

Com exceção da variedade Roxo, a aplicação de gesso agrícola mineral promoveu aumento na produção de matéria fresca (Figura 3A). Na variedade Cameroon foi observada a maior resposta à aplicação do insumo com ganho relativo de 23 Mg ha<sup>-1</sup>. A variedade Gramafante respondeu menos ao gesso, variando de 62 a 68 Mg ha<sup>-1</sup> da ausência para a presença de gesso, respectivamente. No entanto, esse ganho de 6 Mg ha<sup>-1</sup> foi significativo.

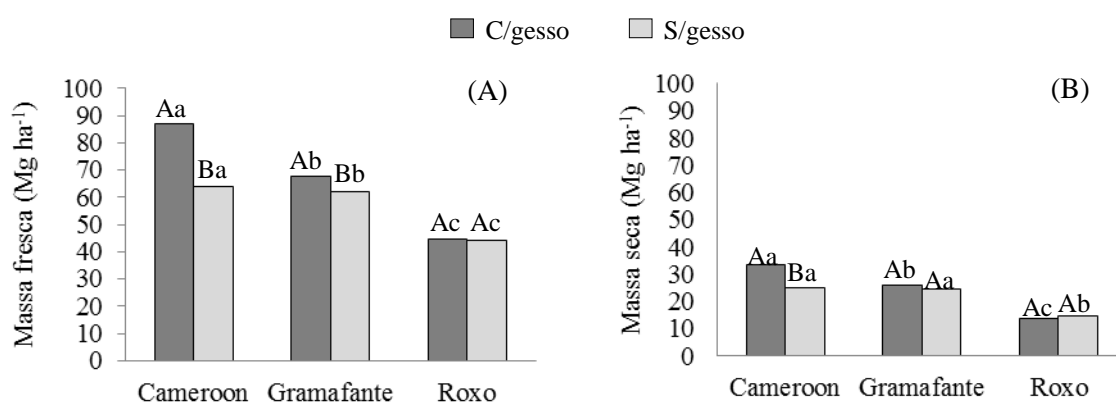


Figura 3. Produção de matéria fresca (A) e seca (B) de três variedades de capim elefante aos 213 dias após o plantio, na presença e ausência de gesso agrícola mineral. Letras maiúsculas comparam a presença e ausência de gesso dentro de cada variedade e letras minúsculas comparam as variedades na presença e ausência de gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Na presença de gesso agrícola mineral, as produções de matéria fresca das variedades Cameroon, Gramafante e Roxo mostraram-se diferentes estatisticamente e foram, respectivamente de 87, 68 e 45 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3A). Na ausência do insumo, o comportamento foi o mesmo, porém em produções mais reduzidas. Rocha (2007) estudando o efeito do gesso agrícola mineral na produção de cana-de-açúcar encontrou efeito positivo na produção de matéria fresca com o aumento da dose, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

A aplicação do gesso agrícola mineral proporcionou aumento de 9 Mg ha<sup>-1</sup> na produção de matéria seca na variedade Cameroon, porém não provocou alterações significativas na produção das variedades Gramafante e Roxo (Figura 3B). Na presença do gesso, as variedades apresentaram produções de matéria seca diferentes. A maior

produção foi observada pela variedade Cameroon com 33 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo seguida pelas variedades Gramafante e Roxo, que apresentaram, respectivamente, produções de 26 e 14 Mg ha<sup>-1</sup>. Na ausência do insumo, a produção de matéria seca das variedades Cameroon e Gramafante foi semelhante (Figura 3B). Desta forma, a variedade de capim elefante que melhor se adaptou as condições de cultivo foi a Cameroon, que inclusive teve potencializada sua produção de matéria seca pela presença de gesso agrícola mineral.

Assim, constatou-se que na região do Araripe em Pernambuco o desempenho do capim Cameroon é superior em relação aos capins Gramafante e Roxo, consolidando esse maior desempenho na presença de gesso agrícola mineral. Isso justifica e viabiliza o uso desse capim, porque o gesso é um produto de larga produção na região, podendo ser utilizado para potencializar a produção do Cameroon, sem impactos significativos nos custos operacionais dessa produção.

Guedes *et al.* (2000) relatam elevação de 29% na produção de matéria seca pela adição de gesso agrícola em braquiária, quando aplicaram 0,5 Mg ha<sup>-1</sup>, dose próxima a utilizada neste trabalho. Na maior dose utilizada (1,5 Mg ha<sup>-1</sup>), os autores constataram aumento de 46% na produção de matéria seca; Casagrande & Souza (1982) também constataram aumento de produção de matéria seca em braquiária e outras gramíneas, que alcançou em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de S em relação à quando não se aplicou enxofre, elevação de até 150% na produção.

Resultados de produção de matéria seca como os encontrados nesse trabalho foram relatados por Quesada *et al.* (2003), estudando o efeito da adubação verde e fertilizante nitrogenado na produção de biomassa e fixação biológica de N em genótipos de capim elefante, em que as variedades Cameroon e Gramafante produziram respectivamente, 25 e 23 Mg ha<sup>-1</sup>, quando receberam a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N. Constatou-se também que os resultados do presente trabalho são semelhantes ao da produção adensada de capim elefante proposta por Machado *et al.* (1996), que no espaçamento 0,25 x 0,25 m, obtiveram produção de cerca de 34 Mg ha<sup>-1</sup>.

Queiroz Filho *et al.* (2000), avaliando a produção de matéria seca de capim elefante Roxo, encontraram valores maiores que os encontrados neste trabalho. Aos 40 e 100 dias após o plantio registraram produções de 19,5 e 30,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso demonstra a intolerância dessa variedade de capim a estresse hídrico, uma vez que durante o período de avaliação deste trabalho a precipitação pluviométrica foi cerca de 3,5 vezes menor que a ocorrida durante a pesquisa de Queiroz Filho *et al.* (2000).

O teor de Ca na biomassa da parte aérea das diferentes variedades de capim elefante foi influenciado pela aplicação de gesso agrícola mineral, porém essa influência dependeu da variedade (Tabela 4). A variedade de capim elefante Cameroon apresentou menor teor de Ca quando recebeu gesso agrícola mineral, devido, provavelmente, a maior produção de matéria seca dessa variedade na presença de gesso (Figura 3B), ocasionando efeito de diluição, ou seja, o capim Cameroon produziu mais massa de matéria seca, diluindo a concentração de Ca. Adicionalmente, o teor de Ca nessa variedade na folha +3 foi também reduzido, independente da aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 2). O capim Cameroon conseguiu produzir mais massa de matéria seca com menos Ca, caracterizando sua eficiência nutricional (Figura 6A).

Tabela 4. Teor de cálcio, magnésio e potássio na biomassa da parte aérea de três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 213 dias após o plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Cálcio		Média	Magnésio		Média	Potássio		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
g kg <sup>-1</sup>									
Capim									
Cameroon	4,91Bc	10,45Ab	7,68	1,04	2,01	1,52b	12,85	12,72	12,79b
Gramafante	7,74Ab	6,23Ac	6,99	1,67	1,78	1,72b	11,76	11,11	11,43b
Roxo	10,37Aa	11,32Aa	10,84	4,33	4,14	4,24a	14,34	16,28	15,31a
Média	7,67	9,33		2,35A	2,64A		12,98A	13,37A	
		F			F			F	
Capim		6,66*			68,89*			4,22*	
Gesso		3,24 <sup>ns</sup>			1,98 <sup>ns</sup>			0,12 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		5,05*			2,75 <sup>ns</sup>			0,51 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		26,52			20,66			20,58	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

O capim elefante Roxo foi a variedade que apresentou os maiores teores de Ca na biomassa da parte aérea, independente da aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 4). Como sua produção de matéria seca é inferior aos capins Cameroon e Gramafante (Figura 3B), o teor de Ca se concentrou ao invés de se diluir, como ocorreu com o capim Cameroon. É provável que as variedades tenham absorvido do solo quantidades

semelhantes, mas por diferentes produções de matéria seca, apresentaram teores diferentes em sua biomassa. Quando se analisa os dados do teor de Ca nos capins Gramafante e Roxo em função da aplicação de gesso, percebe-se que os teores de Ca na presença e na ausência do insumo são semelhantes, ou seja, o teor de Ca na biomassa da parte aérea não foi alterado pela aplicação do insumo (Tabela 4), corroborando com os valores de produção de matéria seca semelhante (Figura 3B).

O maior teor de Ca encontrado neste trabalho é cerca de 8,8 vezes superior do que o encontrado por Morais (2008), ao avaliar o potencial produtivo de genótipos de capim elefante para uso como fonte alternativa de energia. Quesada (2005), ao estudar características qualitativas e quantitativas de diferentes genótipos de capim elefante, também para uso energético, observou teores de Ca variando de 2,9 a 4,0 g kg<sup>-1</sup> em função do genótipo. Essas diferenças nos teores de Ca observadas nesse trabalho em relação a outros, podem ser devidas a maior disponibilidade de Ca no solo proporcionada pela calagem e gessagem que favoreceram uma maior absorção desse nutriente.

Os teores de Mg na biomassa das variedades de capim elefante foram diferentes, variando de 1,52 a 4,24 g kg<sup>-1</sup>. O maior teor foi constatado na variedade Roxo, sendo diferente estatisticamente dos teores encontrados nas variedades Gramafante e Cameroon, cujos teores foram, respectivamente de 1,72 e 1,52 g kg<sup>-1</sup>, e semelhantes entre si (Tabela 4). Valores semelhantes a esses foram encontrados por Quesada (2005), porém superiores aos encontrados por Bernardino *et al.* (2005), ao analisarem a composição bromatológica do capim elefante e da casca de café utilizados na ensilagem. Essa diferença no teor de Mg na biomassa aérea do capim Roxo em relação ao Cameroon e ao Gramafante é, provavelmente, resultante da concentração desse nutriente pela sua menor produção de matéria seca (Figura 3B).

A aplicação de gesso agrícola mineral não afetou os teores de Mg na biomassa aérea em nenhuma das variedades de capim elefante (Tabela 4). É provável que não tenha ocorrido arraste de Mg para camadas mais profundas do solo com a presença de gesso agrícola mineral, fazendo com que a absorção desse nutriente não tenha sido influenciada pelo insumo. Adicionalmente, nos capins Gramafante e Roxo a produção de matéria seca é semelhante na presença ou ausência de gesso (Figura 3B), inviabilizando a possibilidade do Mg ficar diluído ou concentrado com a aplicação do insumo. No entanto, no capim Cameroon a produção de matéria seca é maior na presença de gesso (Figura 3B) e evidencia uma diluição de Mg nesse tratamento, porque

o teor de Mg na ausência de gesso é quase que duas vezes maior que na presença do insumo (Tabela 4).

Em relação ao teor de K na biomassa aérea das variedades de capim elefante, o comportamento observado foi o mesmo constatado para o teor de Mg. Na variedade Roxo observou-se teor de 15,31 g kg<sup>-1</sup> de K e nas variedades Gramafante e Cameroon teores de 11,43 e 12,79 g kg<sup>-1</sup> de K, respectivamente. A diferença do teor entre as variedades é também atribuída ao efeito de diluição, pela maior produção de matéria seca das variedades Cameroon e Gramafante (Figura 3B). Os teores de K encontrados neste trabalho são inferiores aos encontrados por Moraes (2008) e Obeid *et al.* (1984) na variedade Mineiro. É possível que essas diferenças sejam atribuídas a diferentes comportamentos genotípicos, porque foi adicionado K, conforme o Manual de Recomendações de Adubação o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A aplicação de gesso agrícola mineral não afetou o teor de K na biomassa da parte aérea das variedades de capim elefante (Tabela 4), mesmo com a elevada produção de matéria seca do capim Cameroon (Figura 3B) que poderia ter causado efeito de diluição. É provável que a elevada mobilidade do K, tanto no solo, como na planta, tenha sido responsável pela estabilidade de teores adequados as diferentes produções de matéria seca na presença ou ausência de gesso.

Não foi observada diferença nos teores de P na biomassa da parte aérea das variedades de capim elefante, bem como em função da aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 5). Devido aos baixos teores de P encontrados na biomassa da parte aérea em relação aos teores encontrados na folha +3 (Tabela 3 e 5), é provável que não haja sensibilidade suficiente na análise química para detectar diferenças estatísticas no teor de P das diferentes variedades de capim elefante na presença ou ausência de gesso. Há uma redução de cerca de quatro vezes nesses teores, minimizando diferenças estatísticas entre os tratamentos.

A aplicação de gesso agrícola mineral não interferiu nos teores de S determinados na biomassa aérea do capim elefante (Tabela 5). É provável que as elevadas precipitações que ocorreram logo após a aplicação do gesso (Figura 1), tenham provocado lixiviação de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para além da zona efetiva de absorção das raízes, facilitada pela formação de complexos neutros, principalmente com Ca (CaSO<sub>4</sub><sup>0</sup>). Guedes *et al.* (2000) avaliaram o comportamento de doses crescentes de gesso na composição química da biomassa de braquiária e também não encontraram alterações significativas nos teores de S nessa biomassa.

Por outro lado, as variedades de capim elefante apresentaram diferentes teores de S na biomassa da parte aérea. Diferentemente dos demais nutrientes, o maior teor de S foi observado na biomassa produzida pela variedade Gramafante, que foi estatisticamente diferente dos valores encontrados pelas variedades Cameroon e Roxo, que por sua vez foram semelhantes entre si. É possível que genotipicamente, o capim Gramafante apresente uma maior demanda por S do que os capins Cameroon e Roxo.

Tabela 5. Teor de fósforo e enxofre na biomassa da parte aérea de três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 213 dias após o plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Fósforo		Média	Enxofre		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
g kg <sup>-1</sup>						
Capim						
Cameroon	0,89	0,99	0,94a	4,83	4,34	4,59b
Gramafante	0,87	0,67	0,77a	6,57	6,83	6,70a
Roxo	0,89	1,05	0,97a	5,22	3,70	4,46b
Média	0,88A	0,90A		5,54A	4,96A	
		F			F	
Capim		1,79 <sup>ns</sup>			9,93*	
Gesso		0,05 <sup>ns</sup>			1,60 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		1,40 <sup>ns</sup>			1,24 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		25,70			21,55	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores dos teores de S na biomassa da parte aérea determinados nesse trabalho estão acima dos encontrados por Avalhaes *et al.* (2009), chegando a ser cerca de três vezes maior na variedade Gramafante. Além da gessagem, a adubação com sulfato de amônio também foi responsável por uma elevada adição de S ao solo, que mesmo tendo sido lixiviado para uma zona fora do alcance das raízes pelas elevadas precipitações, houve acúmulo de S no solo, relativamente aos teores originalmente encontrados (Tabela 1), elevando sua disponibilidade e, conseqüentemente, maior absorção, impactando nos elevados teores encontrados na biomassa da parte aérea, principalmente na variedade Gramafante.

Os teores de K, P, Ca e Mg encontrados por Acunha & Coelho (1997) ao estudarem o efeito do intervalo entre cortes de capim elefante foram respectivamente de



13,8; 3,3; 3,1; e 3,6 g kg<sup>-1</sup>. Desta forma, os teores de K, Ca e Mg encontrados neste trabalho foram próximos aos dos citados pelos pesquisadores, com exceção do P que foi superior ao dessa pesquisa. Os referidos autores constataram que à medida que aumenta o intervalo entre os cortes, diminuem os teores nutricionais.

A aplicação de gesso agrícola mineral não influenciou a extração de Ca, Mg, K, P e S do solo, independente das variedades de capim elefante (Figura 4). Quando se calcula a extração de nutrientes pela parte aérea da planta, se utiliza os dados do teor do nutriente na biomassa da parte aérea e a produção da massa de matéria seca. Com exceção do teor de Ca na biomassa da parte aérea das variedades de capim elefante, os teores de Mg, K, P e S não foram influenciados pela aplicação de gesso (Tabela 4 e 5), porém a produção de matéria seca foi influenciada pela presença de gesso (Figura 3B). Assim, era de se esperar que a extração desses nutrientes também fosse influenciada pela aplicação de gesso. O que ocorreu é que a produção de matéria seca só foi influenciada pela presença de gesso, dependendo da variedade de capim elefante cultivada (Figura 3B). Isto fez com que a extração dependesse mais da variedade do que da aplicação de gesso agrícola mineral.

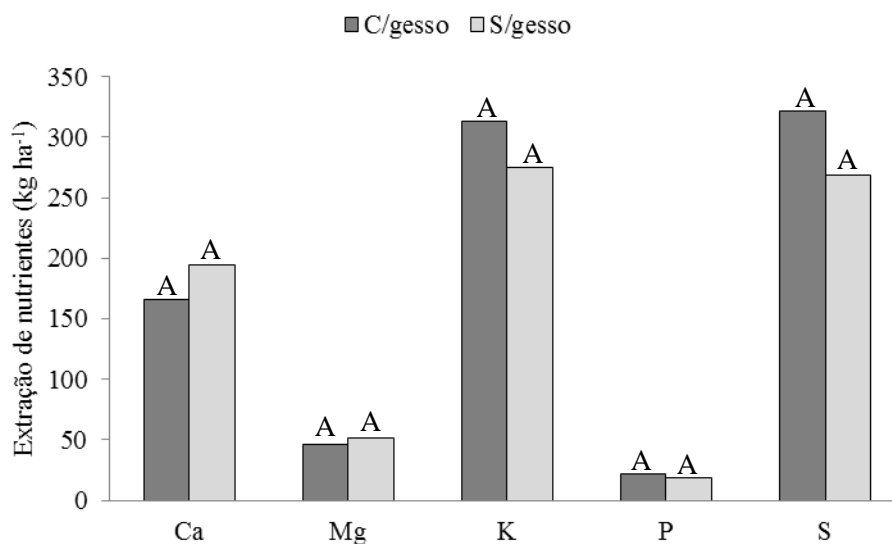


Figura 4. Extração de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre por capim elefante aos 213 dias após o plantio, na presença e ausência de gesso agrícola mineral. Letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

No caso do Ca em que o teor na biomassa da parte aérea das variedades de capim elefante dependeu da aplicação de gesso, o que possivelmente ocorreu é que essa

dependência foi influenciada também pela variedade, ou seja, houve também interação significativa entre os fatores que compuseram os tratamentos (Tabela 4), refletindo na extração desse nutriente quando se comparou presença ou ausência de gesso.

As diferentes variedades de capim elefante cultivadas extraíram diferentes quantidades de nutrientes (Figura 5). De uma maneira geral todas extraíram mais K do que os outros nutrientes estudados, mostrando a elevada demanda por K das gramíneas forrageiras, indicando que a nutrição potássica é fundamental para um adequado programa de fertilização do capim elefante.

A variedade de capim elefante que extraiu maior quantidade de K foi a Cameroon que extraiu  $373 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo diferente estatisticamente da quantidade extraída pelas variedades Gramafante e Roxo, que extraíram  $176$  e  $156 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, sendo semelhantes entre si (Figura 5). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Quesada (2005), quando avaliou cinco variedades de capim elefante para a produção de biomassa. Nelas, a extração de K variou de  $170$  a  $310 \text{ kg ha}^{-1}$ , calculadas com base no teor do nutriente na biomassa aérea e na produção de matéria seca. A variedade Cameroon embora não tenha apresentado o maior teor desse nutriente na biomassa da parte aérea (Tabela 4), sua elevada produção de matéria seca (Figura 3B) justifica essa maior extração de K, relativamente às variedades Gramafante e Roxo.

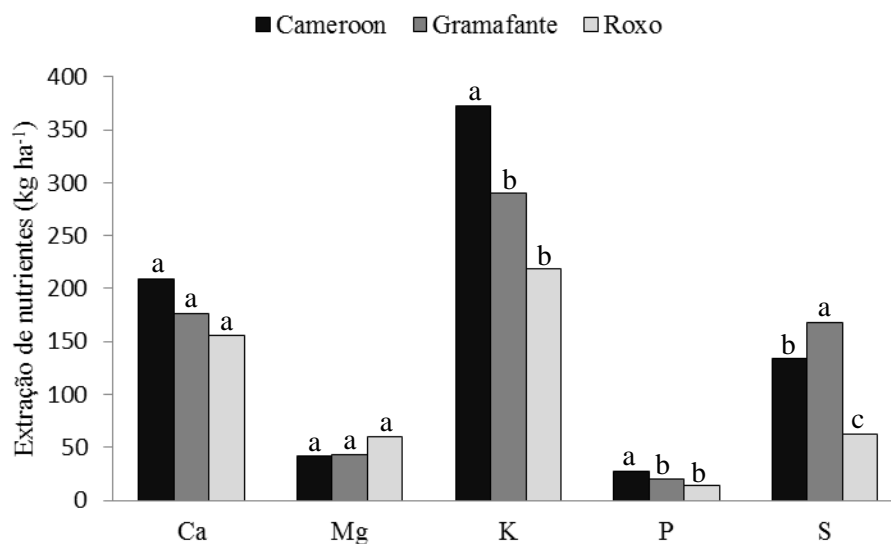


Figura 5. Extração de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre por três variedades de capim elefante aos 213 dias após o plantio. Letras minúsculas comparam as variedades para cada nutriente. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Se por um lado o K foi o nutriente mais extraído pelas variedades, o P foi o nutriente menos extraído. Mesmo assim, o capim Cameroon foi quem mais extraiu P, apresentando extração média de 27 kg ha<sup>-1</sup>, seguido pelos capins Gramafante e Roxo, com extrações de 20 e 14 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 5). A diferença de extração entre as variedades foi devido à produção de matéria seca (Figura 3B), pois os teores de P na biomassa da parte aérea não se diferenciaram (Tabela 5).

Outro aspecto relevante nos dados de extração de nutrientes pelas variedades de capim elefante foi a elevada extração de S (Figura 5), sugerindo sua importância nos programas de fertilização dessas gramíneas, inclusive indicando como fundamental a utilização de insumos que tenham participação de S e são fontes de N e P. Diferentemente do que aconteceu com K e P, a maior extração de S ocorreu no capim Gramafante, que extraiu 168 kg ha<sup>-1</sup>, diferindo estatisticamente das quantidades extraídas pelas variedades Cameroon e Roxo, que extraíram 134 e 63 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Corroborando com essa elevada extração de S pela variedade Gramafante, os elevados teores de S na biomassa da parte aérea dessa variedade (Tabela 5) e sua produção de matéria seca (Figura 3B).

A extração de Ca e Mg pelas variedades de capim elefante não se diferenciou (Figura 5). Os maiores teores de Ca e Mg na biomassa da parte aérea do capim Roxo não se refletiram em maiores extrações desses nutrientes, porque a produção de matéria seca no capim Roxo foi reduzida (Figura 3B), confirmando o efeito concentração do teor desses nutrientes.

Obeid *et al.* (1984) observaram remoções de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P, 400 kg ha<sup>-1</sup> de K, 54 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 52 kg ha<sup>-1</sup> de Mg para uma produção de matéria seca de 21,6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ao avaliarem o efeito da adubação sobre a produtividade e valor nutritivo de capim elefante Mineiro. Desta forma, as quantidades extraídas de P e Mg registradas pelos autores foram próximas das encontradas neste trabalho, enquanto que a extração de K dessa pesquisa foi maior e a de Ca menor do que eles constataram.

Quesada (2005) observou extrações de Ca, Mg, P e K inferiores às deste trabalho. O autor encontrou extrações que variaram de 19,1 a 66,4 kg ha<sup>-1</sup> para Ca, 15,7 a 38,8 kg ha<sup>-1</sup> para Mg, 25,6 a 67,1 kg ha<sup>-1</sup> para P e 62,0 a 212,9 kg ha<sup>-1</sup> para K. Entretanto, os teores dos nutrientes encontrados por esse mesmo autor na biomassa da parte aérea dos capins por ele estudados, foram semelhantes aos constatados nesse trabalho. A superioridade da extração é atribuída à maior produção de matéria seca desse trabalho em relação ao do Quesada (2005).

A aplicação de gesso agrícola mineral aumentou a eficiência de utilização de Ca, porém esse aumento dependeu da variedade de capim elefante (Figura 6A), ou seja, o gesso promoveu aumento da eficiência de utilização de Ca apenas nas variedades Cameroon e Roxo. A variedade que melhor respondeu à aplicação de gesso foi a Cameroon, que apresentou uma eficiência de utilização de 221,94 kg kg<sup>-1</sup>, sendo seguida pela variedade Gramafante e posteriormente, a Roxo, com eficiências de 149,75 e 115,36 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Na ausência do insumo a maior eficiência no uso de Ca foi observada na variedade Gramafante, que apresentou uma eficiência de utilização de Ca de 221,06 kg kg<sup>-1</sup>, sendo seguida pela variedade Cameroon, com 101,31 kg kg<sup>-1</sup>. Enquanto que a variedade Roxo na ausência de gesso apresentou a menor eficiência, apresentando 90,10 kg kg<sup>-1</sup>.

Os dados de eficiência de utilização de Ca indicaram que a variedade Gramafante é tão eficiente na ausência de gesso, quanto a Cameroon na presença do insumo (Figura 6A). Essa elevada eficiência na utilização de Ca pela variedade Gramafante foi devido a não ter havido redução na produção de matéria seca na ausência de gesso em relação a presença do insumo (Figura 3B), aliada a uma redução na extração de Ca, de uma maneira geral, na ausência do insumo (Figura 4), sugerindo que em ambientes com baixos teores de Ca, a indicação para cultivo da variedade Gramafante é recomendável.

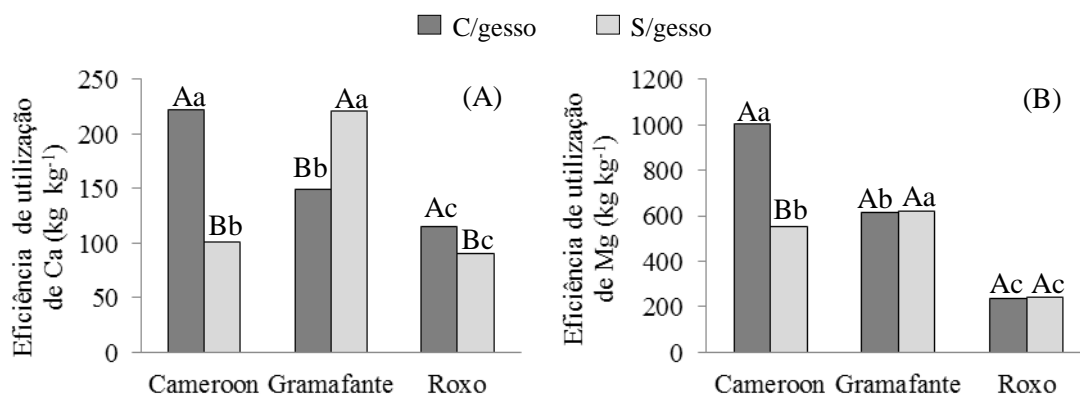


Figura 6. Eficiência de utilização de cálcio (A) e magnésio (B) por três variedades de capim elefante aos 213 dias após o plantio na presença e ausência de gesso agrícola mineral. Letras maiúsculas comparam a presença e ausência de gesso dentro de cada variedade e letras minúsculas comparam as variedades na presença e ausência de gesso. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

A eficiência de utilização de Mg apresentou o mesmo comportamento que a eficiência de Ca, ou seja, a aplicação de gesso agrícola mineral influenciou a eficiência de utilização de Mg, porém esse efeito foi dependente da variedade de capim elefante (Figura 6B). Na variedade Cameroon ocorreu a maior eficiência de Mg na presença de gesso, porém nas variedades Gramafante e Roxo, a aplicação de gesso não interferiu na eficiência de utilização de Mg. Na ausência de gesso agrícola a variedade Gramafante destaca-se das demais e apresenta a maior eficiência de utilização de Mg. Corroborando com o que foi constatado para Ca, os dados apontam para uma recomendação de cultivo de capim Gramafante em ambientes mais restritivos a disponibilidade de Mg.

Quesada (2005) encontrou maiores produções de matéria seca com a absorção de Ca nas variedades Cameroon, Gramafante e Roxo, que apresentaram eficiência de utilização de 263, 208 e 294 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Essas eficiências foram maiores do que as encontradas neste trabalho. Entretanto, para a eficiência de utilização de Mg, os valores encontrados pelo autor foram menores que os observados neste trabalho, tendo o capim Cameroon apresentado uma eficiência de utilização 2,4 vezes menor.

A eficiência de utilização de K, P e S não foi influenciada nem pela aplicação de gesso agrícola mineral, nem pela variedade de capim elefante, com exceção do S (Figura 7). A menor eficiência foi observada na variedade Gramafante, sendo diferente estatisticamente da eficiência apresentada pelas variedades Cameroon e Roxo, que foram semelhantes entre si. Essa menor eficiência apresentada pela variedade Gramafante foi devido a maior extração de enxofre (Figura 5), sem conversão em massa de matéria seca (Figura 3B).

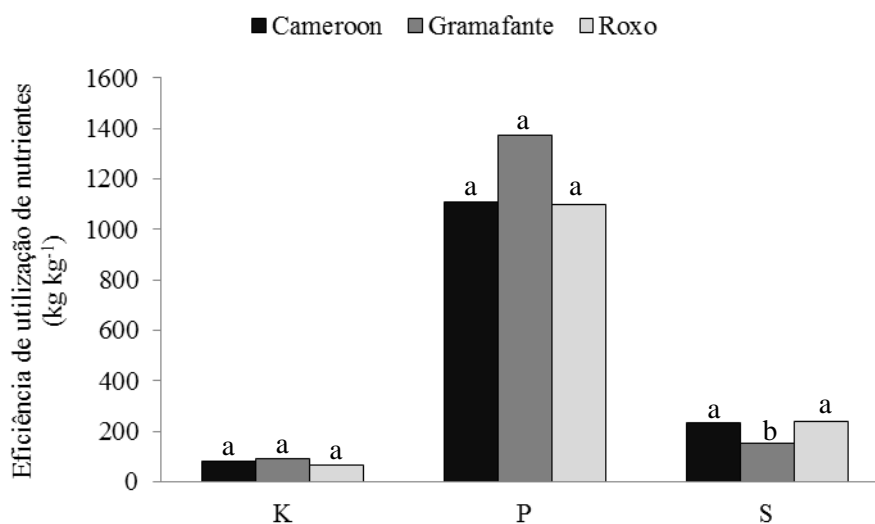


Figura 7. Eficiência de utilização de potássio, fósforo e enxofre por três variedades de capim elefante aos 213 dias após o plantio. Letras minúsculas comparam as variedades

para cada nutriente. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Assim, se por um lado o capim Gramafante está sendo recomendado para ambientes com disponibilidade restrita de Ca e Mg, deve ser observada em sua nutrição a importância do S, principalmente pela elevada demanda apresentada pelo Gramafante por esse nutriente. Na região do Araripe, a abundância de gesso agrícola mineral que contém considerável quantidade de S, viabiliza a indicação desse capim para cultivo como fonte alternativa de energia na calcinação da gipsita.

A eficiência de utilização de P e K não dependeu nem da aplicação de gesso agrícola mineral, nem da variedade de capim elefante. Isso viabiliza a indicação de qualquer um dos capins utilizados no ensaio, quanto às exigências nutricionais de P e K.

### **Conclusões**

O capim elefante Cameroon foi mais exigente em Ca, K e P e o capim Gramafante em S.

Os capins elefante Cameroon e Gramafante apresentaram elevadas produções de matéria seca, porém apenas a variedade Cameroon apresentou resposta à aplicação de gesso agrícola mineral, que alcançou 33 Mg ha<sup>-1</sup>.

O capim elefante Gramafante pode ser recomendado para ambientes restritivos a disponibilidade de Ca e Mg e fértil em S.

### **Referências bibliográficas**

ACUNHA, J. B. V. & COELHO, R. W. Efeito da altura e intervalo de corte do capim elefante anão. II. Composição Mineral da Forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.1, p.339-344, 1997.

ALVAREZ V, V. H. *et al.* Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª aproximação. Viçosa-MG, 322p., 1999.

ALVAREZ, V.H. *et al.* Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. **SBCS**, Viçosa, v.25, n.1, p.27-32, 2000.

ALVAREZ, V. H. *et al.* **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas.** Viçosa: UFV, 131p., 2001.

ANDRADE, A. C. *et al.* Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1589-1595, 2000.

AVALHAES, C. C. *et al.* Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de capim-elefante (cv. Mott) cultivado em solução nutritiva. **Scientia Agraria**, v.10, n.3, p.215-222, 2009.

BERNARDINO, F.S. *et al.* Produção e características do efluente e composição bromatológica da silagem de capim-elefante contendo diferentes níveis de casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2185-2191, 2005 (supl.).

CASAGRANDE, J.C., SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado de Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.21-25, 1982.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas.** Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. **Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 26 p., 2005.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral. **Cimento.** p.636-654, 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p., 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p., 2006.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

GUEDES, L. M. *et al.* Influência da aplicação de gesso na produção de matéria seca, na relação nitrogênio:enxofre e concentrações de enxofre, cobre, nitrogênio e nitrato em pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, n.5., p.521-526, 2000.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., IPA, 198p., 2008.

JACQUES, A. V. A. Caracteres morfofisiológicos e suas implicações no manejo. **In:** CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; CARVALHO, L. de A. (Ed.) *Capim elefante: produção e utilização*. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1997. p.1-30.

MACHADO, A.N. *et al.* Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem de capim-elefante cv. Três Rios. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.1, p.57-62, 1996.

MC DOWELL, L. **Nutrition of grazing ruminants in warm climates**. Academic Press. N.Y., 443p., 1985.

MELLO, A. C. L. *et al.* Caracterização e Seleção de Clones de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.30-42, 2002.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso**



**como fonte alternativa de energia.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 73p., 2008.

OBEID, J. A. *et al.* Efeito da adubação sobre a produtividade e valor nutritivo do capim-elefante 'Mineiro' cultivado em solo sob vegetação de cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.13, n.4, p.488-500, 1984.

PAVAN, M.A. *et al.* Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1201-1207, 1982.

QUEIROZ FILHO, J, L. *et al.* Produção de Matéria Seca e Qualidade do Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cultivar Roxo em Diferentes Idades de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.29, n.1, p.69-74, 2000.

QUESADA, D. M. *et al.* **Potencial de genótipos de *Pennisetum purpureum* para a alta produção de biomassa e eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).** Circular técnico 51, Embrapa Agrobiologia, 2p., dez./2001.

QUESADA, D. M. *et al.* Efeito da adubação verde e n-fertilizante no acúmulo de Biomassa e fixação biológica de nitrogênio em genótipos de Capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Agronomia**, v.37, n.2, p.54-59, 2003.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim elefante como potencial para uso energético.** Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 76 p., 2005.

RITCHEY, K.D. *et al.* Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, v.133, n.6, p.378-382, 1982.

ROCHA, A. T., **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial.** Tese (Doutorado), UFRPE, Recife, 69 p., 2007.

RUIZ, H. A. **Métodos de Análises Físicas do Solo.** UFV, 23p., 2004.

SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Manual do usuário, 138 p. (versão 8.0), 1999.

SALDANHA, E. C. M. *et al.* Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n. 1, p.36-42, 2007.

SANTOS, M.V.F. *et al.* Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.821-827, 2003.

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados a pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife, Imprensa Universitária da UFRPE, 309p., 1999.

SOBRINHO, F. S. *et al.* Avaliação agronômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milheto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.873-880, 2005.

SONDERGAARD, T. E. *et al.* Energization of Transport Processes in Plants. Roles of the Plasma Membrane H<sup>+</sup>-ATPase. **Plant Physiology**, v.136, p. 2475-2482, September 2004.

SUMNER, M.E. *et al.* Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1258, 1986.

## **Capítulo III**

**Produção de biomassa de capim elefante como fonte alternativa de energia em Pernambuco**

**Biomass production of elephantgrass as an alternative source of energy in Pernambuco**

## **Resumo**

Como alternativa para atender a demanda energética do Pólo Gesseiro do Araripe, está a exploração da biomassa de capim elefante. Porém a produção dessa gramínea depende de diversos fatores, dentre eles, as condições químicas desfavoráveis do solo pode restringir essa produção, como elevados teores de Al e a baixa disponibilidade de Ca e Mg, principalmente em subsuperfície. Assim, o uso adequado de gesso pode potencializar essa produção de biomassa. Aliado a isso, as diferentes variedades de capim elefante podem apresentar variação na capacidade de produzir energia, pelos seus diferentes teores de fibras e lignina. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho energético de diferentes variedades de capim elefante na presença de gesso mineral. Para isso, foram cultivadas em campo três variedades de capim elefante: Cameroon, Gramafante e Roxo na presença e ausência de gesso mineral em arranjo fatorial (3 x 2), com os tratamentos distribuídos casualmente em 4 blocos. O ensaio experimental foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina/PE. O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO AMARELO de classe textural franco-arenosa. Aos 213 dias após o plantio, foi realizado o corte do capim e avaliação dos teores de Fibra em Detergente Neutro, Fibra em Detergente Ácido, lignina, umidade, matéria seca, poder calorífico superior (PCS) e rendimento energético do capim na calcinação de gipsita. O capim Gramafante apresentou o maior teor de lignina e conseqüentemente o maior PCS. A aplicação de gesso agrícola mineral potencializou a produção de biomassa no capim Cameroon, que apresentou a maior produção energética por unidade de área. O capim elefante Cameroon apresentou elevado rendimento energético, sendo recomendado como fonte alternativa de energia para a região do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

**Palavras-chave:** gipsita, energia de biomassa vegetal, poder calorífico superior, Pólo Gesseiro do Araripe

## **Abstract**

The exploitation of the biomass of elephantgrass is an alternative to supply the source of energy of the Gypsum Pole of the Araripe. Although, the production of grass depends on several factors, including the inadequate soil chemical conditions, can reduce the production, such as, high contents of Al and low availability of Ca and Mg, chiefly in the subsurface. Thus, the adequate use of gypsum can increase the biomass production. Strictly linked with this fact, the different varieties of elephantgrass can produce variation in ability to produce energy due to different levels of fiber and lignin. Therefore, this study aimed to evaluate the energy performance of different varieties of elephantgrass in the presence of mineral gypsum. The experiment was composed of three varieties of elephantgrass, such as, Cameroon, Gramafante and Roxo in the presence and absence of mineral gypsum through a factorial arrangement (3 x 2), with treatments arranged in 4 randomized blocks. The research was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco in Araripina/PE. The soil of the experimental area was classified as Oxisol of sandy loam texture class. At 213 days after planting was carried out cutting the grass and evaluation of the NDF, ADF, lignin, moisture, dry matter, higher heating value (HHV) and energy consumption of the grass in calcination of gypsita. The Gramafante grass showed the highest lignin content and consequently higher HHV. The application of mineral gypsum increased the production of biomass in Cameroon grass which demonstrated the highest energy production per unit area. Cameroon elephantgrass showed high energetic, being

recommended as an alternative source of energy for the region of the Gypsum Pole of the Araripe in Pernambuco.

**Key words:** gypsite, biomass energy vegetable, higher heating value, Gypsum Pole of the Araripe

## **Introdução**

A região do Araripe é uma área de grande pressão sobre os recursos naturais, especialmente os recursos florestais. A ação antrópica se processa com grande intensidade, resultando em áreas degradadas pelo consumo de lenha para atender a diferentes setores econômicos. Essa situação vem exigindo do poder público, do setor produtivo e do terceiro setor atenção especial para conter a pressão sobre os recursos florestais, bem como medidas para evitar o processo de degradação ambiental (SECTMA, 2007).

Segundo a SECTMA (2007), ao analisar a matriz energética da região do Pólo Gesseiro de Pernambuco e o seu consumo de energéticos florestais, seriam necessários cerca de 12.680 ha ano<sup>-1</sup> explorados sob a forma de manejo florestal para atender a essa demanda, impactando na existência de vegetação suficiente na região para abastecer esse mercado consumidor.

Como alternativa a curto e médio prazo a fim de atender a demanda energética desse Pólo, está a exploração de espécies vegetais de rápido crescimento e acúmulo de biomassa, e dentre elas se encontra o capim elefante. A geração de energia por biomassa vegetal tem se tornado um importante campo de estudo na sociedade moderna (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008). De acordo com os dados do balanço energético nacional brasileiro (BEN, 2009), em 2008 os recursos da biomassa foram responsáveis por 15,1% das fontes de energia renovável da oferta de energia interna, apresentando-se superior a energia hidráulica e elétrica, que somaram juntas 13,8%.

A utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, entre outros, no conhecimento do poder calorífico e potencial para produção de biomassa (VALE *et al.*, 2000). O poder calorífico é definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de um material. O poder calorífico é dividido em superior (PCS), que se refere à quantidade de energia, na forma de calor, liberada na combustão completa de uma unidade do combustível; e inferior (PCI), sendo considerada a energia efetivamente disponível por unidade de combustível, após se deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989; DINIZ *et al.*, 2004; QUIRINO *et al.*, 2005; PERES *et al.*, 2007).

O capim elefante é bastante conhecido e utilizado como forragem na alimentação de animais, mas o seu uso como biomassa energética é pouco conhecido. Sendo uma *Poacea*, apresenta o colmo como uma parte fibrosa, mais dura, que forma a casca e uma medula com feixes vasculares. Sua estrutura morfológica é bastante semelhante à do bagaço de cana-de-açúcar e apresenta cerca de 65% de fibras e 35% de material não fibroso (MORAIS, 2008). Este percentual de fibras é superior ao teor mínimo estabelecido por Kauter *et al.* (2003) para plantas que podem ser utilizadas para a produção de energia.

Souza *et al.* 2003, Ferreira *et al.* (2004) e Bernardino *et al.* (2005) ao realizarem análise bromatológica da biomassa aérea de capim elefante encontraram teores de lignina respectivamente de 6,7, 7,1 e 7,6% na matéria seca. Esses teores mesmo sendo mais baixos que os de algumas plantas utilizadas para a mesma finalidade, como eucalipto, quando se leva em consideração a produtividade e a quantidade de cortes por ano, o capim elefante é vantajoso, pois o primeiro corte do eucalipto só deve acontecer com sete anos, e o capim elefante, nesse manejo, pode ser cortado até 14 vezes (2 cortes ano<sup>-1</sup>), superando substancialmente o eucalipto em produtividade, compensando assim um menor percentual de lignina (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008).

Porém a produção de biomassa de capim elefante depende de diversos fatores, dentre eles se destaca o solo (ANDRADE *et al.* 2000). Segundo Quesada (2005), dos fatores de solo, os que mais têm restringido o bom desenvolvimento e a elevada produção, são a toxidez por Al, a baixa disponibilidade de Ca e Mg e a deficiência de P.

O gesso agrícola, insumo utilizado para a redução da saturação por Al e de seus níveis tóxicos, e elevação dos teores de Ca em subsuperfície, tem mostrado em diversos trabalhos potencial para aumento de rendimento de diversas culturas, e até mesmo em condições de estresse hídrico, como protagonista ou coadjuvante. Soratto & Crusciol (2008) observaram que a calagem em superfície aumentou a produtividade de grãos da aveia-preta em ano com deficiência hídrica, com efeitos mais pronunciados na presença de gesso. A aplicação de gesso agrícola proporcionou aumento de até 420 kg ha<sup>-1</sup> de trigo em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa (CAÍRES *et al.*, 2002). Guedes *et al.* (2000) observaram elevação de 29% na produção de matéria seca pela adição de gesso agrícola em braquiária, quando foi aplicado 0,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Rocha (2007) estudando o efeito do gesso agrícola mineral na produção de cana-de-açúcar encontrou efeito positivo na produção de matéria fresca com o aumento da dose. Caíres *et al.* (2004) relatam que, quando aplicaram calcário combinado com gesso,

observaram acréscimos na produção de milho da ordem de 17%, pelo aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo .

Assim, o uso do gesso produzido na própria região do Araripe pode potencializar a produção de matéria seca do capim elefante por sua atuação na correção da acidez trocável em subsuperfície, proporcionando maior quantidade de biomassa, que pode ser utilizada como fonte alternativa de energia na alimentação dos fornos para calcinação de gipsita.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho energético de três variedades de capim elefante cultivadas na presença e ausência de gesso mineral na região do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

## Material e Métodos

Para avaliar o efeito do gesso mineral, que doravante será chamado de gesso agrícola mineral, em solo cultivado com diferentes variedades de capim elefante, conduziu-se, no período de janeiro a setembro de 2010, um experimento de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada a 694 km do Recife, com coordenadas geográficas 07°27'37'' S e 40°24'36'' W e altitude de 831 m, em um solo classificado como LATOSSOLO AMARELO (CAVALCANTI & LOPES, 1994). A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, tendo o período chuvoso com início em novembro e término em abril, e a precipitação média anual é de 431,8 mm (CPRM, 2005). Durante o ensaio experimental a precipitação pluviométrica foi de 350,2 mm (Figura 1).

A caracterização química e física do solo (Tabela 1) foi realizada em duas profundidades (0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m), onde se determinou pH (H<sub>2</sub>O), pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, (H+Al), P, COT (Carbono Orgânico Total), S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e P-remanescente (P-rem). O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; o P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> com Mehlich-1; e o (H+Al) com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, conforme EMBRAPA (2009). O S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível foi extraído com fosfato de cálcio em água (ALVAREZ V. *et al.*, 2001) e a capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS) foi determinada conforme metodologia descrita por Alvarez V. *et al.* (2001). O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, o Al<sup>3+</sup> e o (H+Al) foram determinados por titulometria; o K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama; o P por colorimetria; o S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> por turbidimetria (ALVAREZ V. *et al.*, 2001); o COT por combustão úmida com dicromato de K (EMBRAPA, 2009); e o P-rem segundo metodologia descrita por Alvarez *et al.*

(2000). Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria para definição de sua classe textural; densidade do solo pelo método da proveta; densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; condutividade hidráulica; e indiretamente, a porosidade total. Com exceção da granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta adaptado por Ruiz (2004), todas as demais análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

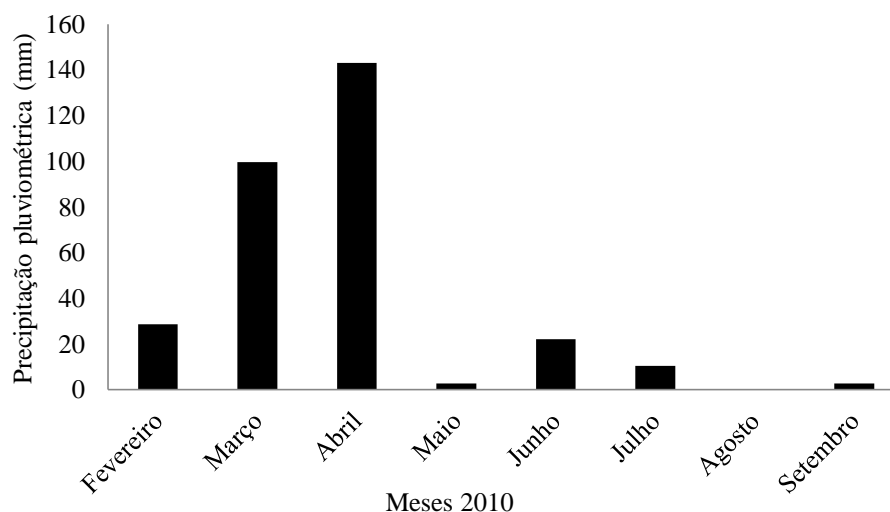


Figura 1. Pluviometria durante o ensaio experimental na Estação Experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco, em Araripina/PE.

Foram utilizadas três variedades de capim elefante (Roxo, Cameroon e Gramafante), submetidas a dois níveis de gesso mineral 0 e 100%, que correspondeu as doses de 0 e 494 kg ha<sup>-1</sup>, calculadas segundo Alvarez *et al.* (1999). O ensaio foi disposto casualmente em 4 blocos, compondo um fatorial 3 x 2, totalizando 24 unidades experimentais. A parcela foi composta por sete sulcos de 6 m de comprimento e espaçados por 1 m, perfazendo uma área total de 42 m<sup>2</sup>. A área útil foi formada pelas 3 linhas centrais descartando 1 m das extremidades, totalizando 12 m<sup>2</sup>.

O experimento foi instalado no início das chuvas (Figura 1), sendo precedido pela aplicação de calcário dolomítico em área total, calculado para correção da camada 0,0 a 0,2 m de profundidade (Tabela 1), cuja Necessidade de Calagem (NC) foi estimada pelo método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg (IPA, 2008). Assim, calculou-se uma dose de calcário que correspondeu a



0,550 Mg ha<sup>-1</sup>, que foi incorporada com grade de discos em todas as parcelas experimentais oito dias antes do plantio.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m na área do ensaio de campo na Estação Experimental de Araripina do Instituto Agrônômico de Pernambuco em Araripina/PE

Atributo	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4
pH água (1:2,5)	4,85	4,54
pH CaCl <sub>2</sub> (1:2,5)	3,30	3,40
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,95	0,30
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,68	0,38
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,14	0,09
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,23	0,24
P (mg dm <sup>-3</sup> )	4,00	1,00
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	62,95	58,28
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37	0,70
(H + Al) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,74	3,27
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,37	1,71
m (%) <sup>3</sup>	15,49	40,90
PST (%) <sup>4</sup>	3,95	5,49
COT (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	8,1	5,2
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	1,83	0,69
CMAS (mg g <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	0,012	0,018
Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	729,75	722,28
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	569,81	551,49
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	159,94	170,79
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	133,88	143,75
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	136,38	133,97
Classe Textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Dp (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7</sup>	2,99	2,98
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>8</sup>	1,43	1,41
PT (%) <sup>9</sup>	52,26	52,64
K <sub>0</sub> (mm h <sup>-1</sup> ) <sup>10</sup>	65,24	92,83

<sup>1</sup> Fósforo remanescente; <sup>2</sup> Capacidade de troca de cátions; <sup>3</sup> Saturação por alumínio; <sup>4</sup> Porcentagem de sódio trocável; <sup>5</sup> Carbono orgânico total; <sup>6</sup> Capacidade máxima de adsorção de sulfato; <sup>7</sup> Densidade da partícula; <sup>8</sup> Densidade do solo; <sup>9</sup> Porosidade total; <sup>10</sup> Condutividade hidráulica saturada.

A dose correspondente ao nível de 100% de gesso foi calculada de acordo com o resultado da NC da camada 0,2 a 0,4 m de profundidade (Tabela 1), utilizando-se o método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg (IPA, 2008). De acordo com Alvarez *et al.* (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada do solo em subsuperfície que se deseja corrigir. No caso deste

trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2 a 0,4 m de profundidade, cuja dose de gesso correspondeu a 0,495 Mg ha<sup>-1</sup>. O gesso foi aplicado no fundo do sulco de plantio, de 0,3 m de profundidade.

Todas as parcelas receberam adubação com N, P e K, de acordo com as Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) e com os resultados das análises da caracterização química do solo (Tabela 1). Desta forma, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, 286 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de K. O superfosfato triplo foi aplicado todo em fundação, e os demais 1/3 em fundação e 2/3 em cobertura, 70 dias após o plantio.

Oito dias após a aplicação do gesso agrícola mineral foi realizado o plantio das variedades de capim elefante. Foram utilizadas 4 Mg ha<sup>-1</sup> de colmo com 3 meses de idade, dispostos em duas fileiras, de forma que a metade basal de um colmo coincidissem com a metade superior do outro. Após o plantio, os colmos foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida, se procedeu a pulverização do sulco e das sementes com cupinicida e posterior fechamento do sulco.

O corte e a avaliação das variedades de capim elefante foram realizados aos 213 dias após o plantio. Foram coletadas 10 plantas aleatoriamente na parcela útil, sendo posteriormente pesadas, trituradas em forrageira. Em seguida, retirou-se uma subamostra, que também teve seu peso registrado, para ser seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, e obtenção da matéria seca e umidade. Com base no número de perfilhos por metro linear foi possível estimar a produção da parcela útil, corrigindo as falhas da brotação do material utilizado no plantio.

Após secagem, a amostra de biomassa foi triturada em moinho de facas com peneira de malha de 1 mm de diâmetro, a fim de se proceder as determinações de FDN, FDA e lignina, segundo Van Soest & Wine (1968), e o PCS, utilizando calorímetro.

Foram determinados os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, e o poder calorífico superior (PCS) das amostras de biomassa das diferentes variedades de capim elefante.

A fim de se constatar diferenças no teor de água entre as variedades de capim elefante, amostras de biomassas secas a 65 °C foram pesadas e colocadas em estufa a 105 °C, buscando retirar resíduos de umidade no tecido vegetal a 65 °C e assim obter-se o percentual de água no material utilizado para determinação do PCS.

Para avaliar o rendimento energético da biomassa de capim elefante, o material colhido foi levado a uma indústria calcinadora de gesso no Município de Trindade/PE no Pólo Gesseiro do Araripe, a Indústria Gesso Aliança Ltda. Após um período secando

a céu aberto, foram confeccionados fardos de capim elefante com comprimento e diâmetro selecionados para possibilitar uma melhor alimentação do forno de calcinação.

O forno utilizado foi do tipo barriga-quente que opera com temperatura entre 500 e 600 °C na câmara de combustão e 250 e 300 °C dentro do cilindro. Com o forno pré-aquecido foi posto ½ fornada de gipsita, alimentando-o com os fardos de capim até a completa calcinação do minério.

Com a finalidade de se comparar o PCS da biomassa de capim elefante e da lenha de espécies nativas extraídas da região circunvizinha utilizada na calcinação de gipsita, foi recolhida uma amostra no estoque da indústria, onde se realizou o teste de rendimento energético desse material. A amostra foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C e moída em moinho de facas com peneira de malha de 1 mm, posteriormente procedeu-se a determinação do PCS da amostra.

Os dados das variáveis utilizadas para inferir sobre características das plantas relacionadas a energia produzida pela sua biomassa foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), sendo calculada a efetividade dos blocos segundo Silva e Silva (1999). Nas variáveis cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, se aplicou o teste de médias de Scott & Knott, ( $p < 0,05$ ). O pacote estatístico utilizado foi o SAEG (SAEG, 1999).

## **Resultados e discussão**

O cálculo da efetividade dos blocos para as variáveis analisadas apresentaram valores maiores que 1, o que demonstra que as variáveis foram influenciadas pelo delineamento em blocos, coerente com o planejamento experimental de distribuição dos tratamentos em campo.

Para estudo prospectivo de material vegetal para a geração de energia, se faz necessário a realização de algumas análises para avaliar a sua aptidão para tal fim, entre elas estão as determinações de fibras e poder calorífico, além da avaliação da produção de matéria seca.

Segundo Quirino *et al.* (2005) o rendimento energético do processo de combustão de um material depende de sua constituição química, em que os teores de celulose, hemicelulose, lignina, fibras, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha de um material a ser utilizado.

Alguns trabalhos (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008) têm fracionado a biomassa aérea de capim elefante em folha e colmo para as determinações de FDN, FDA e lignina. Porém eles direcionam a produção dessa biomassa para carvoejamento,

sendo desta forma o colmo a parte mais nobre, por apresentar maior teor de lignina, componente mais rico em C (QUESADA, 2005).

Com a finalidade de alimentar os fornos de calcinação de gipsita do Pólo Gesseiro do Araripe, a biomassa de capim produzida neste trabalho não foi fracionada, uma vez que o material produzido em campo é introduzido por inteiro (folha + colmo) nos fornos. Desta forma, os teores de FDN, FDA e lignina foram determinados em toda biomassa aérea (Tabela 2).

Aos 213 dias após o plantio, não foi observado efeito do gesso agrícola mineral nos teores de FDN, FDA e lignina nas diferentes variedades de capim elefante (Tabela 2), mostrando que as fibras vegetais, pouco se alteram pela adição de gesso no solo, mesmo esse insumo sendo fonte de Ca, que é um importante componente da parede celular.

Nas variedades de capim elefante não foram observadas diferenças no teor de FDN. Isso mostra que as fibras insolúveis em detergente neutro do tecido vegetal, como celulose, hemicelulose, lignina e proteína danificada, pouco se alteram quantitativamente em função da variedade, ou seja, possivelmente se mantêm estáveis em diferentes variedades de uma mesma espécie vegetal, como encontrado por Santos *et al.* (2003), ao avaliar a composição química das variedades de capim elefante Pioneiro e Mott. Teores próximos a estes foram relatados por Bernardino *et al.* (2005), que encontraram 74,5% de FDN na matéria seca de capim para silagem, quando analisaram a composição bromatológica da forragem; Mistura *et al.* (2006), ao avaliarem a disponibilidade e qualidade do capim elefante com e sem irrigação, adubado com N e K na estação seca, também encontraram valores de FDN que variaram de 72,45 a 73,93% na matéria seca do capim, cujos valores são próximos aos deste trabalho; e ainda por Queiroz Filho *et al.* (2000), ao avaliarem a produção de matéria seca e qualidade da variedade de capim roxo, que encontraram teores de FDN variando de 65 a 77% da matéria seca do capim em função da idade de corte.

O teor de FDA é uma característica mais importante para a geração de energia porque é constituído de componentes menos digeríveis que a FDN, basicamente lignina e celulose, carboidratos mais ricos em C. Segundo Quesada (2005) materiais que apresentam teores de FDA acima de 52% da matéria seca são de boa qualidade para queima.

Assim como nos teores de FDN, não foram observadas diferenças significativas de FDA na matéria seca das variedades cultivadas, corroborando com os resultados encontrados por Quesada (2005) na avaliação de genótipos de capim elefante para a

geração de energia. Esse autor encontrou teores de FDA variando de 52 a 54% da matéria seca, o que chega a ser 11% superior ao maior valor encontrado na variedade de capim Gramafante estudada neste trabalho (Tabela 2). Porém os teores de FDA encontrados por Morais (2008) e Queiroz Filho *et al.* (2000), que foram, respectivamente de 43 e 42% da matéria seca, se assemelham aos teores encontrados nesse trabalho, que por sua vez são superiores aos de Santos *et al.* (2003), que ao avaliarem a composição química de gramíneas tropicais na zona da mata de Pernambuco, observaram teores de FDA em torno de 36 e 38% nas variedades Mott e Pioneiro, respectivamente.

Tabela 2. Teor de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina na matéria seca de três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 213 dias após o plantio, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	FDN		Média	FDA		Média	Lignina		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
%									
Capim									
Cameroon	73,72	76,56	75,14a	40,34	41,69	41,01a	5,25	5,07	5,16b
Gramafante	76,71	78,42	77,57a	44,75	45,88	45,32a	6,74	6,41	6,58a
Roxo	77,26	77,88	77,57a	45,59	42,97	44,28a	6,23	5,63	5,93a
Média	75,90A	77,62A		43,56A	43,51A		6,07A	5,70A	
		F			F			F	
Capim		1,08 <sup>ns</sup>			3,16 <sup>ns</sup>			4,76*	
Gesso		1,23 <sup>ns</sup>			0,00 <sup>ns</sup>			0,96 <sup>ns</sup>	
Capim*Gesso		0,17 <sup>ns</sup>			0,78 <sup>ns</sup>			0,11 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		4,95			8,21			15,60	

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de FDA encontrados neste trabalho estão abaixo do considerado adequado para materiais energéticos (QUESADA, 2005), mas deve-se levar em consideração que os teores de FDA determinados neste trabalho foram obtidos na planta inteira, e como as folhas apresentam teor mais reduzido de fibras (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008), isso, provavelmente, causou diluição do teor de FDA da biomassa inteira da parte aérea.

Diferentemente dos demais componentes celulares analisados, os teores de lignina apresentaram-se diferentes nas variedades de capim elefante (Tabela 2). Os maiores teores de lignina foram observados nas variedades Gramafante e Roxo, quando comparadas à variedade Cameroon. Assim, se espera que o poder energético das variedades de capim siga a mesma tendência do teor de lignina, porque esse é um indicador da qualidade energética do material vegetal.

Os teores de lignina encontrados neste trabalho estão abaixo da referência para um material vegetal energético. Segundo Quesada (2005) valores de lignina acima de 10% da matéria seca fornecem indícios da qualidade do material para produção de energia. Especificamente no caso desse trabalho, deve-se levar em consideração que as determinações realizadas no material vegetal foram feitas na biomassa inteira (folha + colmo), e desta forma, o menor teor de lignina presente nas folhas, observado pelo próprio Quesada (2005), proporcionou um teor mais reduzido na biomassa da parte aérea das variedades de capim elefante. Morais (2008) e Quesada (2005) encontraram teores de lignina na matéria seca variando de 6 a 12% no colmo e de 5 a 8% na folha, e Bernardino *et al.* (2005), que analisou toda a biomassa da parte aérea sem fracionar, encontrou 7,6% de lignina na planta inteira.

Com relação à liberação de energia do material, a umidade constitui-se um importante fator tanto para a determinação do poder calorífico (DINIZ *et al.*, 2004), quanto para o rendimento em fornos de calcinação.

A umidade das variedades de capim não se alterou pela aplicação de gesso agrícola mineral (Tabela 3), o que mostra que o insumo não provocou acúmulo de água nas variedades de capim. É comum se creditar o ganho de produção das culturas quando se aplica gesso a maior eficiência do uso da água, porém pouco se conhece sobre as alterações fisiológicas promovidas pelo insumo. Cascardo *et al.* (1993), avaliaram a disponibilidade de água e o efeito de doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira, mas não observaram efeito significativo do insumo nas variáveis analisadas, como transpiração, condutância estomática, temperatura foliar, teor relativo de água foliar, potencial hídrico total da folha e déficit de pressão de vapor.

O conceito de eficiência do uso da água é diferente de acúmulo de água na matéria fresca. Quando uma planta é eficiente no uso da água, significa que ela foi capaz de absorver maiores quantidades, porém manteve seus estômatos abertos, transpirou mais, e conseqüentemente, fotossintetizou mais, elevando sua produção de matéria seca. Como o gesso pode proporcionar uma maior efetividade do sistema radicular, permitindo-lhe maior acesso a água, o que faz crescer a absorção e a

transpiração, porém sem vinculação com o acúmulo de água, que energeticamente para o material vegetal não é um bom indicador.

Quando se analisou os dados de umidade das variedades de capim, se observou que a umidade da biomassa vegetal foi diferente em função da variedade de capim elefante (Tabela 3), sendo possivelmente resultante de fatores fisiológicos intrínsecos de cada cultivar. O maior valor de umidade foi encontrado no capim Roxo, quando comparado aos capins Cameroon e Gramafante, que apresentaram umidade semelhante. Como o objetivo da produção de biomassa de capim deste trabalho tem fins energéticos, quanto menor a umidade, mais eficiente será sua combustão. O uso de materiais com elevado teor de água causa perda de eficiência energética, porque parte da energia que seria utilizada na calcinação da gipsita, será empregada para vaporizar água do tecido vegetal (QUIRINO *et al.*, 2005).

Desta forma, para serem utilizados, materiais frescos devem passar por um período de secagem, a fim de reduzir sua umidade a níveis adequados para combustão, aumentando sua eficiência energética. Quanto menor a umidade desses materiais, mais rapidamente acontece a secagem, com o percentual de água chegando a níveis satisfatórios, para que ele possa ser utilizado na combustão, alcançando máxima eficiência energética. Então, maior umidade representa maior tempo de espera para redução da umidade, a fim de atingir nível ideal para combustão.

Assim, por esse critério, o capim Roxo apresenta, entre as variedades estudadas, o menor potencial para uso em fornos calcinadores de gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe. Pois o tempo necessário para a redução dos teores de água de sua biomassa, possivelmente, serão maiores que os das demais variedades.

Ao analisar os dados de produção de matéria seca, foi observado que houve variação com o uso do gesso agrícola mineral e essa variação foi dependente da variedade de capim elefante cultivada e vice-versa (Tabela 3). Quando se aplicou gesso, a produção de matéria seca variou significativamente no capim Cameroon e não se alterou nos capins Gramafante e Roxo. Com a aplicação de gesso no capim Cameroon, a produção de matéria seca foi maior do que quando não se aplicou o insumo e esse ganho foi de  $8,65 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Provavelmente, a resposta a adição de Ca, veiculada pela aplicação do gesso agrícola mineral, foi mais efetiva no capim Cameroon, sendo capaz de promover melhoria do ambiente radicular, favorecendo um maior acesso a reservas de água e nutrientes em subsuperfície, fazendo com que o Cameroon respondesse aumentando sua produção de biomassa.

Tabela 3. Produção de matéria seca e umidade de três variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso agrícola mineral aos 213 dias após o plantio, média, análise da variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Umidade		Média	Matéria Seca		Média
	C/gesso	S/gesso		C/gesso	S/gesso	
	%			Mg ha <sup>-1</sup>		
<b>Capim</b>						
<b>Cameroon</b>	61,78	61,58	61,68b	33,29Aa	24,64Ba	28,97
<b>Gramafante</b>	62,04	60,64	61,34b	25,86Ab	24,45Aa	25,15
<b>Roxo</b>	69,32	66,64	67,98a	13,65Ac	14,69Ab	14,17
<b>Média</b>	64,38A	62,95A		24,27	21,26	
		F			F	
<b>Capim</b>		20,47*			53,01*	
<b>Gesso</b>		2,25 <sup>ns</sup>			6,10*	
<b>Capim*Gesso</b>		0,56 <sup>ns</sup>			5,71*	
<b>C.V. (%)</b>		3,67			13,11	

Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Quando se analisou a produção de matéria seca em função do cultivo das diferentes variedades de capim elefante, influenciadas pela presença ou ausência de gesso agrícola mineral (Tabela 3), constatou-se que na presença de gesso o cultivo do capim Cameroon foi responsável pelas maiores produções de matéria seca e diferiram dos valores encontrados com o cultivo dos capins Gramafante e Roxo, que também diferiram entre eles, com o capim Gramafante produzindo mais que o Roxo. Na ausência de gesso, há uma acentuada redução na produção de matéria seca do capim Cameroon, se assemelhando a produção do Gramafante, porém ambos ainda mantendo produções mais elevadas que o capim Roxo. Esses dados sugerem que para cultivar capim elefante na ausência de gesso na região do Araripe como biomassa alternativa para produção de energia, é recomendável se optar pela variedade Gramafante, considerando que há nessa variedade um maior teor de lignina, relativamente a variedade Cameroon (Tabela 2).

Por outro lado, a resposta ao gesso agrícola mineral da variedade Cameroon é muito significativa e representa cerca de 35% a mais do que produziria a variedade Gramafante na ausência do insumo. Por se tratar de uma região, em que a produção de gesso é abundante, o uso e a aplicação do insumo é, provavelmente, viável



economicamente, favorecendo a indicação da variedade Cameroon como bastante promissora para as condições edafoclimáticas da região do Pólo Gesseiro do Araripe.

Essa elevação na produção de matéria seca pela adição de gesso agrícola foi também observada por Guedes *et al.* (2000) em *Brachiaria decumbens* Stapf, quando aplicaram 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, quantidade semelhante a utilizada neste trabalho. Nessa dose, eles observaram aumento de cerca de 29% na produção de matéria seca, e na maior dose (1,5 Mg ha<sup>-1</sup>), esse aumento passou para 46%. Casagrande & Souza (1982) também constataram aumento de 150% na produção de matéria seca em braquiária, capim gordura, capim jaraguá e sertária, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de S, aplicado na forma de gesso agrícola, em relação à testemunha.

Valores de produção de matéria seca como esses foram encontrados por Quesada *et al.* (2003), estudando o efeito da adubação verde e N-fertilizante no acúmulo de biomassa e fixação biológica de N em genótipos de capim elefante, em que as variedades Cameroon e Gramafante produziram 25 e 23 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, quando receberam uma dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N. Constatou-se também que os resultados do presente trabalho são semelhantes ao da produção adensada de capim elefante proposta por Machado *et al.* (1996), que no espaçamento 0,25 x 0,25 m, obtiveram produção de cerca de 34 Mg ha<sup>-1</sup>.

Queiroz Filho *et al.* (2000), avaliando a produção de matéria seca de capim elefante Roxo, encontraram valores maiores que os encontrados neste trabalho. Aos 40 e 100 dias após o plantio registraram produções de 19,5 e 30,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso demonstra a intolerância dessa variedade de capim a estresse hídrico, uma vez que durante o período de avaliação deste trabalho, a precipitação pluviométrica foi cerca de 3,5 vezes menor que a ocorrida durante a pesquisa de Queiroz Filho *et al.* (2000).

Apesar do conhecimento dos teores de fibra, lignina, umidade e produção de matéria seca das variedades de capim elefante, é fundamental conhecer o poder calorífico dos materiais, pois quanto maior for o valor, maior quantidade de calor pode ser liberada do combustível (PERES *et al.*, 2007).

Ao analisar o PCS, foi observado que o mesmo não variou pela aplicação de gesso agrícola mineral. Esse fato está de acordo com Jara (1989), que afirmou que o PCS de um material é influenciado, principalmente pela umidade e teor de lignina, e ambas as variáveis não foram influenciados pela aplicação do insumo, corroborando com os resultados deste trabalho (Tabela 2 e 3).

Os dados de PCS mostraram que houve diferença significativa em função das diferentes variedades de capim elefante (Figura 2). De acordo com Quirino *et al.* (2005), o material que apresenta maior teor de lignina, também é responsável pelo maior PCS. Sendo assim, o maior valor de PCS foi da variedade Gramafante, corroborando com o maior teor de lignina encontrado nessa variedade (Tabela 2). Porém era de se esperar que em seguida viesse o capim Roxo, pois apresentou o segundo maior teor de lignina, mesmo que não tenha se diferenciado do maior valor apresentado pelo Gramafante. No entanto, o resultado observado não comprovou isso, ou seja, apesar da variedade de capim Roxo ter apresentado maior teor de lignina que a Cameroon, ela produziu o menor PCS (Figura 2).

Esse fato possivelmente aconteceu devido a diferenças de umidade existentes entre os materiais (JAVA, 1989). O PCS mensurado nesse trabalho se realizou com amostras secas a 65 °C. Nessa temperatura, a umidade pode interferir substancialmente no PCS da amostra. Foi o que aconteceu com o capim Roxo, que apresentou, tanto em campo (Tabela 3), como seco a 65 °C (Figura 3), maior umidade, fazendo com que parte considerável da energia liberada na sua combustão, pelo maior teor de lignina do material, tenha sido utilizada para evaporar o maior teor de água da amostra. Assim, o motivo do menor PCS apresentado pelo capim Roxo, apesar do maior teor de lignina que o Cameroon (Tabela 2), foi a maior umidade apresentada pelo material seco a 65 °C utilizado na análise (Figura 3).

Quando se analisou os valores de PCS produzidos pela biomassa das variedades de capim elefante, observou-se que são próximos ao gerado pela amostra de lenha de caatinga nativa coletada na indústria calcinadora, que foi de 17,55 MJ kg<sup>-1</sup>. Assim, a substituição de lenha das espécies utilizadas atualmente na geração de energia para calcinação de gipsita pela biomassa de capim elefante, pode ser realizada sem que haja prejuízo energético.

Valores de PCS em biomassa de capim elefante como esses foram encontrados por Santos *et al.* (2003) na variedade Mott, que constataram 16,94 MJ kg<sup>-1</sup>, ao avaliarem a composição química de gramíneas tropicais na zona da mata de Pernambuco; e por Flores (2009), que encontrou PCS de 17,18 MJ kg<sup>-1</sup>, ao estudar a produção de capim elefante para fins energéticos em função da adubação nitrogenada e idade de corte.

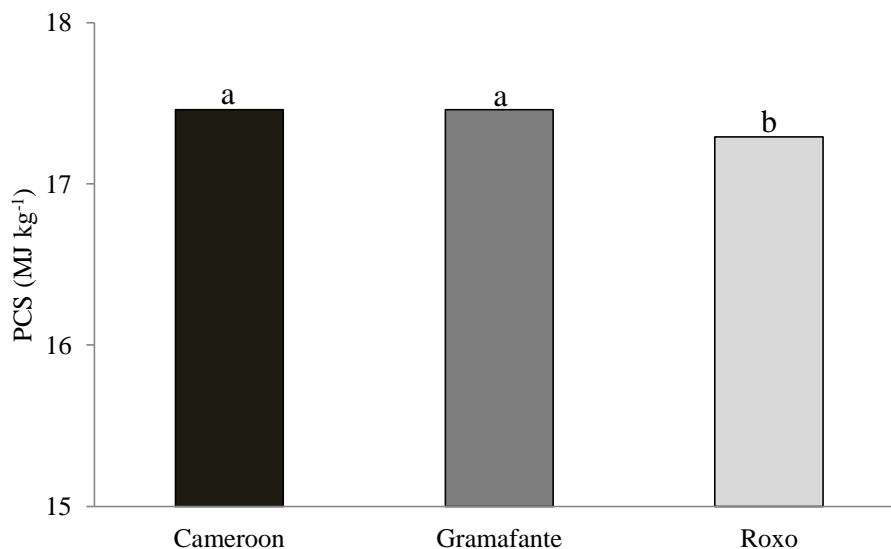


Figura 2. Poder calorífico superior (PCS) da biomassa de três variedades de capim elefante aos 213 dias após o plantio. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Nott ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Flores (2009) o PCS encontrado em plantas de capim elefante é satisfatório energeticamente, uma vez que analisando também amostras de eucalipto, o PCS foi, em média, 18,67 MJ kg<sup>-1</sup>. Santos *et al.* (2003) também encontraram valores de PCS semelhantes aos determinados por Flores (2003) em eucalipto, na variedade de capim elefante Pioneiro, que foi de 18,48 MJ kg<sup>-1</sup>. Os valores de PCS encontrados neste trabalho também são próximos aos encontrados por Brito *et al.* (1987) em *Bambusa vulgaris*, que constataram 17,66 MJ kg<sup>-1</sup>.

Quirino *et al.* (2005), estudando o poder calorífico da madeira de 132 espécies florestais, encontraram valores de PCS variando de 14 e 22 MJ kg<sup>-1</sup>. Dentro dessas espécies florestais havia cerca de 17 espécies de eucalipto, com PCS variando de 17,66 a 21 MJ kg<sup>-1</sup>.

Se o critério para escolha de uma variedade de capim para fins energéticos fosse o PCS, a variedade recomendada seria o capim Gramafante. Porém quando se compara os valores de PCS produzidos por unidade de área, em que se considera a produção de matéria seca (Tabela 3), observou-se que a maior quantidade de energia foi produzida pela variedade Cameroon, que produziu 580.990 MJ ha<sup>-1</sup>, enquanto que o capim Gramafante apresentou 451.454 MJ ha<sup>-1</sup>.

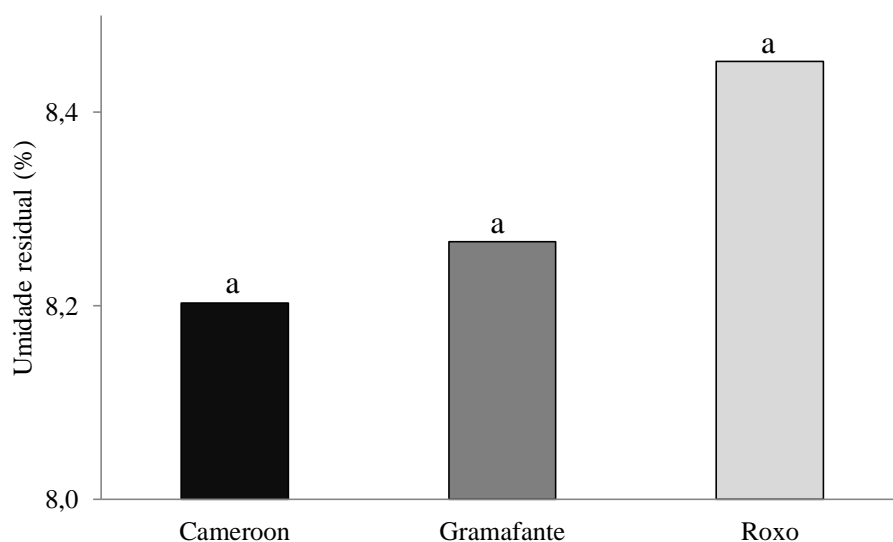


Figura 3. Umidade residual a 65 °C em amostras de três variedades de capim elefante, utilizadas para determinação do poder calorífero superior (PCS).

Assim, é recomendável o cultivo da variedade de capim elefante Cameroon, aliado a aplicação de gesso agrícola mineral, que potencializa sua produção de matéria seca, para utilização de sua biomassa como energia alternativa a ser implementada nos fornos de calcinação de gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe.

Todas essas pesquisas evidenciam a capacidade que a biomassa produzida pelo capim elefante tem de alto potencial para uso com fins energéticos, pois o poder calorífico gerado pelo material foi semelhante ao encontrado para o eucalipto, que de acordo com Flores (2009), é a principal cultura utilizada como fonte de energia primária no Brasil.

Apesar das variedades de capim elefante Cameroon e Gramafante terem apresentado grande potencial para cultivo e uso com fins energéticos no Pólo Gesseiro do Araripe, pela produção de matéria seca e PCS, avaliou-se também o rendimento energético desses materiais e comparou-se ao rendimento de outras biomassas de finalidades também energéticas.

O teste de rendimento da biomassa de capim elefante em forno destinado à calcinação de gipsita apresentou resultados muito promissores. Após 1,5 h alimentando o forno com capim, a gipsita havia sofrido completa calcinação, sendo utilizados para isso 360 kg de capim com 14% de umidade, o que produziu 2.640 kg de gesso calcinado para a indústria da construção civil. Desta forma, 1 Mg gesso foi calcinada com 136,36 kg de capim com 14% de umidade, o que correspondeu a 117,27 kg de matéria seca. Se for utilizado como base de cálculo a produção de matéria seca da variedade Cameroon

na presença de gesso agrícola mineral em um corte aos 7 meses, que foi de 33,29 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3), tem-se que 1 ha de capim pode calcinar 283,87 Mg de gesso.

### **Conclusões**

Apesar da biomassa da variedade de capim elefante Gramafante ter apresentado maior teor de lignina e maior poder calorífico superior, a elevada produção de matéria seca da variedade Cameroon potencializada pela aplicação de gesso agrícola mineral, proporcionou a esse capim, a maior produção energética por unidade de área;

Assim, o uso do capim elefante como fonte alternativa de energia apresenta grande potencial para solucionar ou minimizar o déficit energético do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

### **Referências bibliográficas**

ALVAREZ V, V. H. *et al.* Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5<sup>a</sup> aproximação. Viçosa-MG, 1999.

ALVAREZ, V.H. *et al.* Determinação e uso do fósforo remanescente. **B. Inf. SBCS**, Viçosa, v.25, n.1, p.27-32, 2000.

ALVAREZ, V. H. *et al.* **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas.** Viçosa: UFV, 131p., 2001.

ANDRADE, A. C. *et al.* Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1589-1595, 2000.

**BEN - Balanço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 48p., 2009.

BERNARDINO, F.S. *et al.* Produção e características do efluente e composição bromatológica da silagem de capim-elefante contendo diferentes níveis de casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2185-2191, 2005 (supl.).

BRITO, J. O. *et al.* Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, v.36, p.13-17, agosto, 1987.

CAÍRES, E. F. *et al.* Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CAÍRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CASAGRANDE, J.C., SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado de Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.21-25, 1982.

CASCARDO, J. C. M. *et al.* Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, n.1, p.31-34, 1993.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 26 p., 2005.

DINIZ, J. *et al.* Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v.26, n.2, p.25-32, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p., 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p., 2006.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

FERREIRA, A. C. H. *et al.* Valor Nutritivo das Silagens de Capim-Elefante com Diferentes Níveis de Subprodutos da Indústria do Suco de Caju. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1380-1385, 2004.

FLORES, R. A. **Produção de capim elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado: resposta a adubação Nitrogenada e idade de corte.** Dissertação (mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Soropédica, 80p., 2009.

GUEDES, L. M. *et al.* Influência da aplicação de gesso na produção de matéria seca, na relação nitrogênio:enxofre e concentrações de enxofre, cobre, nitrogênio e nitrato em pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, n.5., p.521-526, 2000.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco.** Recife, 2a aproximação, 2. ed. rev., IPA, 198p., 2008.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 6p., 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KAUTER, D. *et al.* Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. **Biomass and Bioenergy**, v.24, n.6, p.411-427, 2003.

MACHADO, A.N. *et al.* Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem de capim-elefante cv. Três Rios. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.1, p.57-62, 1996.

MISTURA, C. *et al.* Efeito da adubação nitrogenada e irrigação sobre a disponibilidade de matéria seca, número e peso de perfilhos em pastagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.372-379, 2006.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 73p., 2008.

PERES, S. *et al.*. Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia. **In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, Anais. Brasília, 2007.

QUEIROZ FILHO, J. L. *et al.* Produção de Matéria Seca e Qualidade do Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cultivar Roxo em Diferentes Idades de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.29, n.1, p.69-74, 2000.

QUESADA, D. M. *et al.*. Efeito da adubação verde e n-fertilizante no acúmulo de Biomassa e fixação biológica de nitrogênio em genótipos de Capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Agronomia**, v.37, n.2, p.54-59, 2003.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim elefante como potencial para uso energético.** Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 76 p., 2005.

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. v.89, abril, p.100-106, 2005.

ROCHA, A. T., **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial.** Tese (Doutorado), UFRPE, Recife, 69 p., 2007.

RUIZ, H. A. **Métodos de Análises Físicas do Solo.** UFV. 23p., 2004.



SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Manual do usuário, 138 p. (versão 8.0), 1999.

SANTOS, M.V.F. *et al.* Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.821-827, 2003.

SECTMA/MMA, **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 91 p., 2007.

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados a pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife, Imprensa Universitária da UFRPE, 309p., 1999.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.675-688, 2008.

SOUZA, A. L. *et al.* Valor nutritivo de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com diferentes níveis de casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.828-833, 2003.

VALE, A. T. *et al.* Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Accia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. **Journal of the A.O.A.C.** v.51, n.4, p.780-785, 1968.

## **Conclusões Gerais**

Em virtude das características do solo, como o teor de argila, e das condições climáticas, elevada precipitação, ocorrida após a implantação do experimento, bem como a magnitude da dose aplicada de gesso, não foi possível detectar alterações nos teores de Ca, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al e de sua saturação;

Em função da lixiviação do Ca oriundo do gesso agrícola mineral, não foram observadas alterações nos teores de Mg e K em subsuperfície, porém houve redução do pH do solo com a aplicação do insumo;

O cultivo de capim Cameroon elevou o pH do solo em subsuperfície e reduziu o teor e a saturação por Al em superfície, indicando-se seu cultivo em solos ácidos da região do Araripe;

Os capins elefante Cameroon e Gramafante apresentaram elevadas produções de matéria seca, porém apenas a variedade Cameroon apresentou resposta à aplicação de gesso agrícola mineral, que alcançou 33 Mg ha<sup>-1</sup>;

O capim elefante Gramafante pode ser recomendado para ambientes restritivos a disponibilidade de Ca e Mg e fértil em S;

Apesar da biomassa da variedade de capim elefante Gramafante ter apresentado maior teor de lignina e maior poder calorífico superior, a elevada produção de matéria seca da variedade Cameroon potencializada pela aplicação de gesso agrícola mineral, proporcionou a esse capim, a maior produção energética por unidade de área;

Assim, o uso do capim elefante como fonte alternativa de energia apresenta grande potencial para solucionar ou minimizar o déficit energético do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.