



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
MESTRADO EM AGRONOMIA

WELBER MELO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)  
EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

BELÉM – PA

2017

WELBER MELO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DE  
DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração – fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura.  
Co-orientador: Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão.

BELÉM

2017

---

Silva, Welber Melo da

Desenvolvimento do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em função de doses de nitrogênio e potássio / Welber Melo da Silva. – Belém, PA, 2017.

46 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientador: Ricardo Shigueru Okumura.

1. Cultivo de sorgo 2. Adubação 3. Nutrição de plantas I. Okumura, Ricardo Shigueru, (orient.) II. Título

CDD – 633.1

---

WELBER MELO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DE  
DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração - fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas, para obtenção do título de Mestre.  
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura.  
Co-orientador: Jessivaldo Rodrigues Galvão.

Aprovado em        de        de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão – 1º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto – 2º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Vicente Filho Alves Silva – 3º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Ricardo Augusto Martins Cordeiro – 4º Examinador  
INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ – IFPA

---

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, por ter me concedido a sorte da escolha certa da profissão e por ter me mantido até aqui.

Aos meus pais, pelo importantíssimo apoio me dado na vida acadêmica desde os pilares.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pelo apoio, acolhimento e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFRA (ICA), pelo apoio em todas as atividades desenvolvidas em suas dependências, bem como auxílio de funcionários e concessão de materiais.

Ao Professor Dr. Ricardo Shigueru Okumura, pela orientação.

Ao Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão, pelo apoio como co-orientador.

Ao corpo de professores do programa de pós-graduação em agronomia da UFRA.

Aos companheiros de pós-graduação, em especial ao Diego Sodré, Arthur Leal, Daynara Vieira e Nara Tavares.

Aos servidores do Instituto de Ciências Agrárias/UFRA.

## RESUMO

O Sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench), gramínea originária da África, é uma planta de climas quentes com características xerófilas que se apresenta como uma boa alternativa na produção de grãos e forragem para a alimentação animal, pois possui eficientes mecanismos de resistência às adversidades climáticas e não requer alta fertilidade dos solos, tal como é requisitado por outros cereais, como o milho. O objetivo deste trabalho foi de avaliar o desenvolvimento do sorgo em função de fertilizações nitrogenadas e potássicas do solo, através de diversas variáveis. O experimento foi conduzido em 2016 na Universidade Federal Rural da Amazônia (Belém - PA) em casa de vegetação, onde foram utilizadas 64 unidades experimentais compostas de vasos preenchidos com Latossolo Amarelo distrófico com duas plantas de sorgo em cada um. Os tratamentos utilizados foram 4 doses de N (0, 80, 160 e 320 kg ha<sup>-1</sup>) e 4 doses de K (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas sob a forma de uréia e KCl, respectivamente, com 4 repetições, compondo um fatorial 4x4, totalizando 16 tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado. O conjunto de variáveis analisadas incluiu dados fitométricos, ecofisiológicos e nutricionais das plantas de sorgo cultivadas. Os resultados obtidos apontaram que todas as variáveis ecofisiológicas foram influenciadas positivamente pelo efeito crescente das doses de N e K como fontes de variação separadas, exceto a variável carbono intercelular e o teor de clorofila total, que responderam melhor à interação entre doses e somente à maior dose de N, respectivamente; Os teores de nutrientes (N, P e K) nas raízes e folhas também foram positivamente influenciados pelas doses crescentes dos nutrientes, com melhores resultados obtidos a partir da interação entre as doses dos dois nutrientes, exceto para o teor de N nas raízes, que sofreu influência decorrente apenas das doses de N, e para o teor de N nas folhas, que não sofreu influência de nenhuma das fontes de variação; As variáveis fitométricas também sofreram influência positiva em virtude das duas fontes de variação (doses de N e K), separadamente, exceto a massa da matéria seca das raízes, que respondeu significativamente à interação entre doses, a altura das plantas, cuja resposta se deu isoladamente à aplicação de doses de N, e o número de folhas, que não respondeu a nenhuma das fontes de variação.

**Palavras-chave:** Adubação. Nutrição de plantas. Cultivo de sorgo.

## ABSTRACT

*Sorghum bicolor* [L.] Moench) is a warm climates plant with xerophilic characteristics that serves as a good alternative in the production of grains and fodder for animal feed, because it has efficient mechanisms of resistance to climatic adversities and does not require high Fertility of soils as required by other cereals such as corn. The objective of this work was to evaluate the development of sorghum as a function of soil nitrogen and potassium fertilization, determining the appropriate doses. The experiment was conducted in 2016 at the Federal Rural University of the Amazon (Belém - Brazil) in a greenhouse, where 64 experimental units composed of pots filled with dystrophic Yellow Latosol with two sorghum plants were used. The treatments used were 4 doses of nitrogen (0, 80, 160 and 320 kg ha<sup>-1</sup> of N) and 4 doses of potassium (0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of K) with 4 replicates, 4x4 in a completely randomized design. The set of analyzed variables included phytometric, ecophysiological, biochemical and nutritional data of sorghum plants. The results showed that all the echophysiological variables were positively influenced by the increasing effect of the N and K doses as separate sources of variation, except for the intercellular carbon variable and the total chlorophyll content, which responded better to the interaction between doses and only to the greater dose of N, respectively; Nutrient levels (N, P and K) in roots and leaves were also positively influenced by increasing doses of nutrients, with better results obtained from the interaction between the two nutrient doses, except for the N content in the roots, which was influenced only by the N rates, and for the N content in the leaves, which was not influenced by any of the sources of variation; The phytometric variables also had a positive influence due to the two sources of variation (doses of N and K), separately, except for the mass of dry matter of the roots, which responded significantly to the interaction between doses, the height of the plants, whose response occurred alone at the application of N doses, and the number of leaves, which did not respond to any of the sources of variation.

**Keywords:** Fertilizing. Nutrition of plants. Sorghum cultivation.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	7
1.1 Revisão de literatura .....	8
1.1.1 Cenário da produção brasileira.....	8
1.1.2 Características da cultura .....	9
1.1.3 Nitrogênio no solo e na planta.....	10
1.1.4 Potássio no solo e na planta .....	12
1.1.5 Recomendação de adubação para a cultura.....	13
<b>2 DESENVOLVIMENTO DO SORGO (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO</b> .....	15
<b>2.1 Introdução</b> .....	15
<b>2.2 Material e métodos</b> .....	17
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	17
2.2.2 Caracterização do solo .....	18
2.2.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	19
2.2.4. Condução do experimento e tratos culturais .....	19
2.2.5. Avaliações .....	20
<b>2.3 Resultados e discussão</b> .....	22
2.3.1 Variáveis ecofisiológicas.....	22
2.3.2 Teores de nutrientes nas raízes e folhas .....	28
2.3.3 Variáveis fitométricas .....	35
<b>2.4 Conclusão</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil se apresenta atualmente no cenário mundial como um dos países mais promissores na produção agropecuária, isto tem sido possível graças ao maior incentivo tanto em pesquisas quanto em políticas públicas, o que impulsiona dia após dia a produção agrícola brasileira.

A Amazônia, dentro desse contexto, desempenha um papel chave como polo produtor, pois uma maior ampliação de áreas agricultáveis bem como a implantação de sistemas agrícolas cada vez mais eficientes, perfazem possibilidades rotineiras na região, o que tem atraído foco no cenário nacional.

A despeito dessa perspectiva de avanço, a região amazônica ainda enfrenta empasses, tais como: sistemas de manejo inadequados e/ou defasados, problemas referentes à fertilidade natural dos solos, falta de estrutura adequada etc. Os solos da região são tidos, no geral, como de baixa fertilidade, ainda que mecanismos de ciclagem de nutrientes permitam o estabelecimento e adequado desenvolvimento da vegetação de floresta.

Diante disso, torna-se necessário a adoção de programas de adubação e correção dos solos amazônicos para uma produção satisfatória, no qual o incremento de insumos se apresente como economicamente e ambientalmente viável.

O cultivo de espécies com exigências edafoclimáticas menos restritas mostra-se como rentável à região, desse modo, a recente introdução do sorgo nas terras amazônicas, tem resultado num sistema de cultivo no qual a aplicação de insumos e os consequentes custos de produção, tanto de grãos como de silagem, gerem uma queda na receita, se comparados com os do milho, por exemplo.

Entre os nutrientes de maior importância na nutrição mineral do sorgo apontam-se o nitrogênio e o potássio, ambos com extração quantitativamente grande pelas plantas, porém, de um modo geral com pouca disponibilidade natural nos solos. O grande requerimento de nutrientes se dá, principalmente, quando a cultura é utilizada para fins de forragem, pois as plantas têm a parte aérea retirada do solo, o que promove remoção de grande parte dos estoques de elementos minerais essenciais à cultura.

Portanto, a adequada reposição dos nutrientes minerais, em especial do nitrogênio e potássio, é quase sempre essencial para a obtenção de bons rendimentos agrônômicos na produção de sorgo, pois além da remoção nutricional pela cultura, esses nutrientes podem ser perdidos via processos naturais que ocorrem no solo, devido à dinâmica particular que cada um apresenta nos diversos tipos de solos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento do híbrido de sorgo Qualimax em Latossolo Amarelo Distrófico em função de adubações nitrogenadas e potássicas através de um conjunto de variáveis que inclui dados fitométricos, ecofisiológicos e referentes às análises de nutrientes no tecido vegetal da cultura.

## **1.1 Revisão de literatura**

### **1.1.1 Cenário da produção brasileira**

A trajetória que o Brasil está tomando vem tornando-o um dos principais fornecedores de gêneros alimentícios para os mercados a fora, isso inclui o fornecimento de carnes, que, como um importante mercado em expansão, fomenta o crescimento da oferta alternativa de insumos como grãos forrageiros e diferentes formas de forragem, com custos cada vez menores.

Nesse contexto, o recente investimento que tem provocado aumento na produção e na utilização do sorgo no Brasil se justifica dentro da política estabelecida pelo governo, que estimula o aumento da eficiência, redução de custos e impactos na atividade agrícola. A importância da cultura do sorgo reside na substituição parcial ou mesmo total de outros cereais como o milho nas rações para as atividades agropecuárias. O uso da cultura também tem se mostrado como uma boa alternativa no sistema de integração lavoura-pecuária, no qual a produção de matéria vegetal atinge valores bastante satisfatórios, além disso, as práticas de manejo e conservação do solo contra a erosão, por exemplo, são favorecidas através do maior incremento na quantidade de matéria orgânica disponível e melhor capacidade de retenção de água no solo (EMBRAPA, 2007).

O sorgo provavelmente chegou ao Brasil através dos escravos africanos, porém, a partir da segunda década do século XX até fins dos anos 60 é que a cultura foi realmente difundida no país. As universidades e institutos de pesquisa foram de fundamental importância para esse processo, através do desenvolvimento de sistemas de produção e distribuição de sementes melhoradas, as áreas plantadas do grão obtiveram um aumento expressivo (RIBAS, 2003).

O Centro-Oeste é a principal região de cultivo de sorgo granífero, enquanto o Rio Grande do Sul e Minas Gerais lideram a área ocupada com sorgo forrageiro. Basicamente, o sorgo granífero é cultivado no Brasil sob três diferentes sistemas de produção: no Rio Grande do Sul, o sorgo é semeado na primavera e colhido no outono, no Centro-Oeste, a semeadura é realizada após a colheita de outras culturas de verão, como a soja, já no Nordeste, o plantio de

sorgo se dá na estação mais chuvosa, popularmente conhecida como “inverno” entre os habitantes desse local (RIBAS, 2003).

A região centro-sul foi pioneira na introdução da cultura do sorgo no Brasil, porém, os recentes avanços na agricultura, principalmente no que se refere à fertilização dos solos, tem impulsionado o crescimento desse cultivo para o Cerrado e o Norte do país, tendência esta que se mantém para outras culturas como a soja, por exemplo. Grande parte desse crescimento tem partido do fato de que o sorgo pode ser um excelente item no sistema de produção de plantio direto, pois possui uma excelente capacidade de produção de palha, o que auxilia na redução do processo de degradação do solo (EMBRAPA, 2007).

A característica marcadamente mais importante que tem voltado a atenção do mercado produtor para o cultivo do sorgo é, sem dúvida, a dependência da produção de grãos, no Brasil, quase que exclusivamente pela precipitação pluviométrica. Tal fato orienta a escolha do sorgo por ser esta uma espécie com a capacidade de mitigar os danos na produção causados por condições desfavoráveis, portanto, quando há déficit na produção de grãos de outras culturas sob condições adversas, o sorgo provavelmente deve apresentar uma queda acentuadamente menor, dada a sua vocação para cultivo nessas condições edafoclimáticas, o que pode reduzir o impacto desses fatores no abastecimento nacional.

### 1.1.2 Características da cultura

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta com centro de origem localizado na África, sendo fruto da intervenção humana através da domesticação da espécie, assim, o cultivo desse vegetal vem sendo realizado ao longo de gerações, transformando-o e adequando-o para satisfazer as necessidades humanas (EMBRAPA, 2007). O sorgo é oriundo de regiões quentes e secas, nas quais as condições de campo não permitem com tanta eficácia o desenvolvimento de outras espécies vegetais, daí a sua tolerância a condições de clima e solo consideradas desfavoráveis.

Apesar do milho ser o cereal mais cultivado e mais produzido no mundo, a área plantada com sorgo tem tido um expressivo aumento, bem como a sua utilização na produção animal, isto se deve às características de tolerância da espécie a solos de menor fertilidade e umidade, se apresentando como uma importante fonte de energia e proteína em dietas de ruminantes (CABRAL FILHO, 2004). A maior área plantada de sorgo está situada na África e Ásia, onde a planta se apresenta como a melhor opção de cultivo nessas regiões com climas

áridos e semi-áridos, contribuindo não só para a alimentação animal, mas sendo também muito utilizada na alimentação humana.

Devido à grande capacidade de produção, o sorgo também é muito empregado na alimentação animal, além dos grãos, a planta pode ser oferecida na forma de silagem, rolão, verde, ou ainda ser pastejada.

O conhecimento do padrão de absorção e acumulação dos nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta de sorgo é um passo de suma importância para a eficácia do manejo de adubação, pois a partir da identificação de cada época é possível definir quando os nutrientes são exigidos em maiores quantidades. Além disso, associada ao conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo, essa informação permite inferir sobre as possíveis perdas de nutrientes nos diferentes tipos de solos, salientando a importância da aplicação parcelada de adubos, principalmente nitrogenados e potássicos.

São reconhecidos, ao todo, dez estádios fenológicos apresentados pela cultura do sorgo ao longo de seu ciclo, incluindo estádios vegetativos e reprodutivos.

O estágio 0 compreende o período que vai da semeadura à emergência das plantas na superfície do solo, com o surgimento do coleótilo, esse período varia geralmente de 4 a 10 dias, dependendo do material genético da semente e das condições ambientais ofertadas; O estágio 1 ocorre geralmente 10 após a emergência, e inclui o aparecimento da lígula/colar ou cartucho da terceira folha; O estágio 3 ocorre geralmente após 30 dias após a emergência e representa a mudança do ponto de crescimento de vegetativo para reprodutivo, as plantas apresentam de 7 a 10 folhas plenamente desenvolvidas; No estágio 4 ocorre o rápido alongamento do colmo e todas as folhas estão completamente desenvolvidas, com exceção das últimas 3 ou 4 (MAGALHÃES et al. 2000).

O estágio 5 expressa a máxima área foliar e a panícula alcança seu comprimento máximo dentro da bainha da folha bandeira; No estágio 6, a panícula completa 50% de floração, decorrem aproximadamente 60 dias da emergência até essa ocasião; O estágio 7 apresenta os grãos contendo cerca de 50% da matéria seca acumulada, nesse período o peso do colmo diminui; No estágio 8, 75% da matéria seca dos grãos estão acumulados; E no estágio 9, quando ocorre a maturação fisiológica, os grãos apresentam 22 a 23% de umidade (MAGALHÃES et al. 2000).

Geralmente, a planta absorve 65, 60 e 80% de seu requerimento em N, P e K até a época do florescimento, respectivamente (TISDALE et al. 2007).

### 1.1.3 Nitrogênio no solo e na planta

O nitrogênio é um elemento essencial classificado como macronutriente, que é a designação para os elementos exigidos em maiores quantidades pelas plantas, cerca de 98% do N no solo está em forma orgânica e apenas 2% está em forma mineral (MALAVOLTA, 2006).

O ciclo deste elemento no solo envolve muitos processos, dentre eles destacam-se: a amonificação, que consiste na transformação do N orgânico em amoniacal; a nitrificação, que envolve a oxidação do amônio a nitrato, passando por nitrito; a imobilização, que consiste na conversão do N mineral para formas orgânicas por microorganismos do solo e pela assimilação da planta verde; a desnitrificação, a qual relaciona-se com a produção de formas gasosas de nitrogênio,  $N_2$  e óxidos, a partir de nitrito e nitrato; a fixação do N, que se trata da conversão do  $N_2$  gasoso para formas minerais assimiláveis pelas plantas (MALAVOLTA, 2006).

Como o N é um elemento bastante encontrado no solo na forma orgânica, seu conteúdo é tido como abundante, entretanto, as formas assimiláveis representam um percentual muito diminuto desse total, o que configura a mineralização do N orgânico como um processo importante no solo, pois torna disponível uma pequena parte do conteúdo de compostos nitrogenados orgânicos para as plantas. Ainda assim, a quantidade de N mineralizada nos solos agrícolas é muito pequena, e, na maioria dos casos, esses solos requerem incremento de adubação.

O N pode ser perdido devido a vários processos naturais, que incluem: a desnitrificação, a exportação do elemento pelas culturas plantadas, a lixiviação e a erosão. As formas assimiláveis de nitrogênio pelas plantas são várias, mas as principais são o cátion amônio ( $NH_4^+$ ) e o ânion nitrato ( $NO_3^-$ ). O nitrogênio é absorvido majoritariamente por fluxo de massa e é transportado via xilema na mesma forma que foi absorvido pelas raízes, ou ainda como produto da assimilação, geralmente aminoácidos (NOVAIS et. al, 2007).

Segundo Malavolta (2006), os papéis do N na formação da colheita são exercidos através dos compostos nitrogenados presentes em vários processos, o fornecimento adequado de N à cultura (em quantidades suficientes, mas não em excesso) pelo solo ou via adubação, como regra melhora a qualidade dos produtos agrícolas, o excesso, porém, pode ser bastante prejudicial.

A adubação nitrogenada é realizada, dependendo da quantidade aplicada, de forma parcelada, uma prática bastante utilizada que pode reduzir as perdas desse nutriente no sistema, sendo parte colocada no plantio e o restante em cobertura. A prática de parcelamento e a época da aplicação da adubação de cobertura depende de vários fatores, como a dose de nitrogênio a ser aplicada, o solo em questão e a irrigação a qual a cultura é ou não submetida (SOUSA & LOBATO, 2004).

Vários autores relataram os benefícios obtidos a partir do fornecimento de N ao solo via adubação, dentre eles, Medeiros et al. (1979), observaram variações na massa da matéria seca de 9,1 a 16,5 t/ha e no teor de proteína bruta de 10 a 14%, em resposta às doses de N (0; 100; 200 e 300 kg N/ha) aplicadas no cultivo de sorgo sordan (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*). Resultados de pesquisas realizadas sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo mostram um efeito positivo da aplicação de N sobre a produtividade da cultura (COELHO et al., 2002).

#### 1.1.4 Potássio no solo e na planta

O potássio é um dos nutrientes mais requisitado pela cultura do sorgo, sua quantidade, disponibilidade, bem como a extração desse elemento pelas espécies vegetais presentes no solo, tornam o potássio um nutriente bastante limitante na produção agrícola, juntamente ao nitrogênio e ao fósforo.

O Brasil possui, de um modo geral, solos com um perfil bastante escasso em potássio, característico de classes como os Latossolos, tipo este predominante no mapa pedológico brasileiro, cujo teor de minerais intemperizáveis é expresso em um pequeno percentual. Os solos brasileiros são, portanto, altamente degradados e empobrecidos em minerais primários ricos em potássio como feldspatos potássicos e micas, tais como a biotita (LOPES, 1982).

O potássio está presente na estrutura cristalina dos minerais primários e secundários, na forma do cátion  $K^+$  na solução do solo, na forma de  $K^+$  trocável (fração que ocupa sítios no complexo coloidal) e, ainda, na forma de K fixado que fica nas posições internas das lâminas de argila e em cavidades hexagonais de certos minerais como as ilitas (MALAVOLTA, 2006).

A liberação de K dos silicatos (representados pelos feldspatos) é orientada principalmente pela natureza destes, e depende intrinsecamente do tipo de hidrólise sofrida pelos minerais intemperizáveis, o qual pode ser hidrólise total ou parcial, culminando numa maior ou menor liberação de potássio em forma trocável. Todas as formas de potássio no solo estão em equilíbrio (NOVAIS et. al, 2007).

As baixas CTC's e as baixas capacidades de fixação em formas não trocáveis do K nos solos tropicais, configuram nos altos índices de perdas desse nutriente por lixiviação, tanto pela baixa retenção do solo quanto pela alta quantidade e grande duração das chuvas, daí a necessidade do parcelamento da adubação potássica (NOVAIS et. al, 2007).

O potássio é transportado no solo preferencialmente via mecanismo de difusão, a partir daí a absorção pela planta se dá para dentro da célula com a ajuda de uma proteína carregadora

específica situada na membrana celular (ATP ou ATPase). O transporte a longas distâncias se dá via xilema ou floema, sendo este nutriente altamente móvel na planta (NOVAIS et. al, 2007).

Cerca de meia centena de enzimas são ativadas pelo potássio, por isso a concentração adequada desse cátion garante a atividade enzimática ótima na célula (MALAVOLTA, 2006). Os papéis bioquímicos do K estão ligados também à adequada atividade de abertura e fechamento dos estômatos das folhas, translocação de açúcares, regulação osmótica etc.

O potássio adicionado através de adubação, assim como o potássio presente na palhada que permanece sobre o solo, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores (ROSOLEM et al., 2006), por isso, o parcelamento da adubação potássica é uma prática de manejo bem comum para evitar tais perdas.

Segundo Fernandes (2006), a disponibilidade do potássio no solo ocupa uma posição intermediária entre o nitrogênio e o fósforo, isto é, não sofre lixiviação tão intensa quanto o primeiro e nem é fixado tão fortemente quanto o segundo. O risco de lixiviação do K está ainda relacionado a outros fatores, como a textura do solo, no caso de solos arenosos, o risco de perda de K é ainda maior, dada a pouca fixação do nutriente na fração coloidal.

#### 1.1.5 Recomendação de adubação para a cultura

A recomendação de fertilizantes na cultura do sorgo grânifero e forrageiro deve ser baseada nas tabelas desenvolvidas para cada estado ou região de acordo com a produtividade esperada ou com base na concentração dos nutrientes presente no solo. Além da espécie e da região em questão, devem ser tomados como critérios importantes na prática de adubação o cultivar utilizado, as características morfológicas do solo, o relevo da área e o histórico de utilização da área de cultivo. A tabela 1 apresentada as recomendações sugeridas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

**Tabela 1.** Recomendação de doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, em kg/ha, para o sorgo grânifero e forrageiro em função das expectativas de produtividade.

Produtividade (t/ha)	Dose de N Semeadura (kg/ha)	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )			Teor de K no solo (mg/dm <sup>3</sup> )			Dose de N <sup>1</sup> (kg/ha)
		Baixo	Médio	Bom	Baixo	Médio	Bom	
		10,1-20	20,1-30	30,1-45	16-40	41-70	71-120	

<b>Grãos</b>			<b>Sorgo granífero</b>					
4 – 6	20 – 30	70	50	30	50	40	20	40
6 – 8	20 – 30	80	60	40	70	60	40	80
<b>Forragem</b>			<b>Sorgo forrageiro</b>					
< 50	20 – 30	70	50	30	75	60	30	70
50 – 60	20 – 30	80	60	40	100	90	60	100
> 60	20 – 30	90	70	50	150	120	90	140

<sup>1</sup>Dose de N a ser aplicada em cobertura.

Fonte: Modificada de ALVES et al. (1999).

Para adubação com fósforo, considera-se que a colheita de uma tonelada de grãos produzidos extrai cerca de 8 a 10 kg de  $P_2O_5$  do solo, esse mesmo valor pode ser considerado quando se trata da produção de forragem, pois o sorgo em sua fase de crescimento vegetativo extrai mais de 80% do fósforo que é absorvido durante o seu ciclo (COELHO, 2015).

Como o potássio é altamente requisitado pela cultura e tem um papel chave na composição do grão, as quantidades exportadas variam de acordo com o nível de produtividade. Desse modo, as produtividades iguais ou inferiores a 6,0 t de grãos por hectare requerem uma exportação média de 4 kg de  $K_2O$  por tonelada de grãos produzidos, já as produtividades acima de 8,0 t de grãos por hectare requerem cerca de 6 kg de  $K_2O$  por tonelada de grãos. A produção de forragem de sorgo demanda uma extração média de 13 kg de  $K_2O$  por tonelada de matéria seca produzida (COELHO, 2015).

A adubação com N em cobertura deve ser realizada quando as plantas atingirem entre 30 a 40 centímetros de altura, a profundidade de incorporação do fertilizante deve ser de 5cm, principalmente se o fertilizante utilizado for a uréia, pois se trata de um insumo bastante passível de perdas (ALVES et al. 1999).

O parcelamento da adubação potássica é sugerido quando a textura do solo for arenosa e/ou a recomendação de adubação for igual ou superior a 80 kg/ha, nesse caso, a metade deve ser aplicada no plantio e a outra metade juntamente com a adubação nitrogenada de cobertura. Recomenda-se também a adubação de Zn nos solos deficientes nesse nutriente ( $< 1 \text{ mg/dm}^3$  de solo - extrator Melich1), a aplicação sugerida é de 1 a 2 kg/ha de zinco (ALVES et al. 1999).

A incorporação dos restos culturais do sorgo pode restituir o suprimento de nutrientes do solo em até 42%, 45% e 85% para o N, P e K extraídos pela cultura durante o seu cultivo,

respectivamente. Essa prática deve promover economia de recursos no uso de fertilizantes a longo prazo, bem como melhoria das condições físicas e químicas do solo (COELHO, 2015).

## **2 DESENVOLVIMENTO DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO**

### **2.1 Introdução**

A agricultura, com o passar dos tempos, tem sido alvo de intensa modernização e pesquisa, os fatores que garantiram essa tendência estão relacionados ao acelerado crescimento populacional e à escassez de recursos naturais, o que gera a busca por uma maior produtividade de alimentos conservando as áreas aptas a esse fim.

Diante disso, a procura por espécies e variedades que atendam a uma produção cada vez maior por unidade de área e que exijam menores custos de produção é uma alternativa aos sistemas tradicionais, principalmente na Amazônia, cuja prática de corte e queima se constitui como base da agricultura familiar e de médio porte, esgotando a fertilidade natural dos solos e promovendo a degradação destes.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma espécie que se adequa perfeitamente a essa tendência, pois é uma planta de clima predominantemente quente, que apresenta características de versatilidade e tolerância a várias condições inóspitas ao desenvolvimento vegetal, como a seca, por exemplo. A produtividade do sorgo se dá, inclusive, em áreas de clima temperado, dada a versatilidade da espécie, desde que se empregue a variedade adequada e que haja períodos secos definidos.

De modo geral, a faixa de temperatura adequada ao cultivo do sorgo compreende temperaturas entre 16°C e 38°C, limites estes que, nas temperaturas abaixo do limite inferior e acima do superior, comprometem o desenvolvimento da maioria dos cultivares (EMBRAPA, 2015).

A amplitude térmica na qual o sorgo pode ser cultivado representa um de seus maiores benefícios, além disso, a cultura pode ser implantada mesmo em locais onde a precipitação pluviométrica atinge valores insatisfatórios para a produtividade de outras culturas, como regiões secas que apresentam valores situados entre 380mm e 600mm anuais (EMBRAPA, 2015).

Como o sorgo pertence ao grupo de plantas de metabolismo C4, pode ser cultivado em áreas de elevados níveis de radiação solar, realizando altas taxas fotossintéticas, maximizando a produção de fotoassimilados e diminuindo as perdas de água via estômatos. Dessa forma,

mantidas as demais condições favoráveis, o aumento da intensidade luminosa gera maior produtividade (LARA, 1974).

A versatilidade e tolerabilidade do sorgo se mostram presentes também em relação aos solos, pois se desenvolve e se mostra tolerante a diversos tipos dele, sendo cultivado com êxito nos que variam de textura pesada a leve, tendo preferência pelos de textura média. Mesmo que a espécie apresente características que a considerem rústica e de alta adaptabilidade, a preferência por solos bem preparados, com acidez corrigida, ricos em matéria orgânica, pH entre 5,5 e 6,5, topografia plana e sem excesso de umidade, são as condições que proporcionam a expressão dos melhores indicadores agrônômicos de produção (LARA, 1974).

Como finalidade, a cultura do sorgo possui aptidão para a produção de grãos e para o processo de ensilagem, assim, os sorgos podem ser do tipo granífero, que contém até 60% de grãos, de dupla finalidade, com 20 a até 30% de grãos, e os do tipo forrageiro, que quase não contém grãos (SILVA et al., 1978).

O uso para ensilagem apresenta alto potencial, pois a produção de matéria seca é alta, assim como a qualidade nutricional desta, além disso, a tolerância à seca e a capacidade de produzir mesmo em condições desfavoráveis, bem como a capacidade de rebrota – que pode alcançar até 60% da produção do primeiro corte, tornam o sorgo uma escolha recorrente para fins de produção de silagem (GALVÃO et. al, 2015).

A cultura também pode ser utilizada com vistas à produção de biocombustíveis, pois é uma ótima opção, sob aspectos agrônômico e industrial, para a produção de etanol. A principal vantagem do sorgo para a produção de etanol reside nos derivados que a planta gera, como o bagaço, que apresenta ótima qualidade biológica para o fornecimento na alimentação animal, diferentemente da cana-deaçúcar. O cereal ainda é produtor de grãos, com produtividade em torno de 2,5 t ha. Outro fator a ser considerado é o fato de que a cultura do sorgo é totalmente mecanizável e complementa o cultivo da cana-deaçúcar, possibilitando estender o período de colheita por até mais quatro meses (PARRELA et al., 2010).

A maioria dos solos amazônicos são representados pelas classes Latossolos e Argissolos, cuja alta acidez e baixa fertilidade restringem a capacidade produtiva dos solos, que na maioria dos casos, apresentam substituição de suas florestas primárias originais por áreas de cultivo. O manejo dessas áreas de forma convencional de exploração agrícola tem gerado degradação dos mesmos e conseqüente abandono das áreas (MELLO; MELLO PEREIRA & NASCIMENTO, 2009)

O uso de práticas de adubação são imprescindíveis para a correção das deficiências nutricionais do solo, tornando as condições adequadas para uma produção satisfatória. A

necessidade nutricional do sorgo varia diretamente com a produtividade esperada, de modo que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade. A maior carência nutricional do sorgo inclui, primeiramente, o nitrogênio e o potássio e, posteriormente, cálcio, magnésio e fósforo.

Em vista da baixa disponibilidade nutricional dos solos amazônicos e da alta requisição de nutrientes pelas culturas anuais como o sorgo, faz-se assim necessário um adequado programa de reposição dos nutrientes, com o intuito de evitar a degradação química dos solos, que de um modo geral, já apresentam uma baixa fertilidade na Amazônia.

O presente trabalho tem como intuito avaliar o desenvolvimento do sorgo em função de doses de uréia e KCl em Latassolo Amarelo de baixa fertilidade, estimando as quantidades mais adequadas no cultivo.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1 Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi realizado entre novembro e dezembro de 2016, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, onde durou 45 dias. O instituto apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 48° 26'28" de longitude Oeste de Greenwich e 01°27'9" de latitude Sul, e está localizado no município de Belém (PA), com altitude de 13 metros. A área experimental utilizada foi uma casa de vegetação localizada nesse instituto.

O clima predominante nessa região é o Afi, de acordo com a classificação de Köppen, no qual a temperatura média anual é de 26 °C. O município se caracteriza ainda por apresentar temperaturas muito altas, forte convecção, ar instável e alta umidade do ar, essas altas temperaturas estão associadas ao elevado potencial de radiação solar incidente, embora grande parte da energia seja convertida em calor latente de evaporação e outra parte convertida em calor sensível que é destinado ao aquecimento do ar, favorecendo a incidência de precipitação na forma de pancadas, principalmente à tarde, situação característica de regime de chuva do tipo continental (Nechet, 1997).

**Figura 1.** Casa de vegetação contendo o experimento - Instituto de ciências agrárias (UFRA).



### 2.2.2 Caracterização do solo

O solo utilizado para o experimento foi retirado de uma área de vegetação primária da Universidade Federal Rural da Amazônia e classificado como Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). A camada explorada de solo foi coletada na profundidade de 0 a 20 cm, a partir daí, foram retiradas amostras para análises químicas e granulométricas de acordo com a metodologia proposta por Rajj et al. (2001). Os resultados das análises químicas e granulométricas estão descritos na Tabela 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Caracterização química de amostra do solo utilizado para o experimento.

Prof.	N	pH	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al	SB
(cm)	%	água	-----mg/dm <sup>3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			
0 – 20	0,05	4,6	6	22	14	0,3	0,5	1,4	0,62

**Tabela 2.** Caracterização granulométrica (g/kg) de amostra do solo utilizado para o experimento.

Prof. (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
0 - 20	481	304	95	120

### 2.2.3. Tratamentos e delineamento experimental

As fontes de variação estudadas foram quatro doses de nitrogênio (0, 80, 160 e 320 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas na forma de uréia, e quatro doses de potássio (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas na forma de KCl, gerando um esquema fatorial 4x4 com 16 tratamentos e quatro repetições, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, totalizando 64 unidades experimentais.

Os tratamentos designados a cada parcela foram constituídos da interação entre as doses dos dois nutrientes N e K<sub>2</sub>O, num total de 16 tratamentos, os quais foram: T1 – N 0 e K<sub>2</sub>O 0 (kg ha<sup>-1</sup>); T2 – N 0 e K<sub>2</sub>O 50 (kg ha<sup>-1</sup>); T3 – N 0 e K<sub>2</sub>O 100 (kg ha<sup>-1</sup>); T4 – N 0 e K<sub>2</sub>O 200 (kg ha<sup>-1</sup>); T5 – N 80 e K<sub>2</sub>O 0 (kg ha<sup>-1</sup>); T6 – N 80 e K<sub>2</sub>O 50 (kg ha<sup>-1</sup>); T7- N 80 e K<sub>2</sub>O 100 (kg ha<sup>-1</sup>); T8 – N 80 e K<sub>2</sub>O 200 (kg ha<sup>-1</sup>); T9 – N 160 e K<sub>2</sub>O 0 (kg ha<sup>-1</sup>); T10 – N 160 e K<sub>2</sub>O 50 (kg ha<sup>-1</sup>); T11 – N 160 e K<sub>2</sub>O 100 (kg ha<sup>-1</sup>); T12 – N 160 e K<sub>2</sub>O 200 (kg ha<sup>-1</sup>); T13 – N 320 e K<sub>2</sub>O 0 (kg ha<sup>-1</sup>); T14- N 320 e K<sub>2</sub>O 50 (kg ha<sup>-1</sup>); T15 – N 320 e K<sub>2</sub>O 100 (kg ha<sup>-1</sup>); e T16 – N 320 e K<sub>2</sub>O 200 (kg ha<sup>-1</sup>).

As doses utilizadas nesse experimento foram obtidas com base nas recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará, onde se utilizou as doses recomendadas dos dois nutrientes para a obtenção de máxima produtividade para a cultura do sorgo, as doses testadas corresponderam portanto ao controle (0 kg ha<sup>-1</sup>), à metade da dose recomendada, à dose inteira recomendada e ao dobro desta. As quantidades dos fertilizantes aplicados em cada unidade experimental foram: 0,44 g, 0,89 g e 1,78 g de uréia para os tratamentos que continham as doses de 80, 160, e 320 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente; e 0,21 g, 0,42 g e 0,83 g de KCl para os tratamentos que continham as doses de 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, respectivamente.

Foram utilizados vasos com capacidade para 5 Kg de solo e as doses foram aplicadas de forma parcelada, em dois períodos, primeiramente aos 10 dias após a germinação das plantas e, em seguida, aos 25 dias após a germinação, os quais correspondem ao estágio vegetativo 2 e 3 da cultura, respectivamente. O solo foi encubado nos vasos com calcário calcítico e superfosfato triplo por um período de um mês para neutralização da acidez e para suplementação de fósforo, que se encontrava em nível muito baixo no solo. No cultivo foi utilizado o híbrido de sorgo Qualimax, que possui aptidão para a produção de grãos sem tanino, apresenta ciclo médio (n > 120 dias) e um porte baixo.

### 2.2.4. Condução do experimento e tratamentos culturais

O solo foi encubado com calcário calcítico (CaCO<sub>3</sub>) nos 30 dias anteriores ao semeio, a quantidade de calcário foi calculada pelo método de neutralização do alumínio trocável e

elevação dos teores de cálcio e magnésio, tendo sido estimada pela seguinte equação:  $NC (t ha^{-1}) = [2 \times Al \text{ cmol}_c/dm^3 + (2 - Ca + Mg \text{ cmol}_c/dm^3)] \times f$ , essa quantidade foi de 4,73 t ha<sup>-1</sup>, correspondendo à aplicação de 12g por vaso. A adubação com fósforo correspondeu à aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> através do uso de superfosfato triplo, o que culminou na incorporação de 0,7g desse adubo em cada vaso, além disso, houve a aplicação de FTE-BR12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn e 0,10% Mo) na quantidade de 30 kg ha<sup>-1</sup> em cada unidade experimental, correspondendo a 0,08g. O semeio foi realizado manualmente, com utilização de 5 sementes em cada vaso, o desbaste das plantas excedentes foi feito aos 20 dias após a germinação, restando após esse período duas plantas por vaso.

A irrigação foi feita de modo manual, com a pretensão de se manter a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo através do método prático de Reichardt (1988), com base no qual se demarcou uma porção da área de onde foi coletado o solo (2,0 m<sup>2</sup>), saturou-se a mesma porção com água uniformemente distribuída e cobriu-se a área demarcada com um plástico, após 24 h do encharcamento da parcela, foram retiradas amostras com duas repetições nas profundidades de 10 a 15 cm e de 25 a 30 cm com o auxílio de um trado, esse procedimento foi repetido durante um período de sete dias.

As amostras foram dispostas em placas de tara conhecida, para determinação do peso do solo úmido de cada amostra, as mesmas amostras foram também condicionadas em estufa por um período de 48 h a 105-110° C para determinação do peso do solo seco. O cálculo da porcentagem de água retida nas amostras foi dado pela equação:  $W\% = (Pa/Ps) \times 100$ ; onde W% representa a porcentagem de água na amostra, Pa é a quantidade de água existente na amostra (através da subtração entre o peso da amostra úmida e da amostra seca) e Ps é o peso da amostra de solo seco (105-110° C). Portanto, todos os dias eram retiradas pequenas porções uniformes de solo dos vasos para pesagem e determinação empírica, através da comparação com a curva obtida da área demarcada, da quantidade de água existente.

O controle de plantas daninhas foi realizado através de monda ao longo de todo o período do experimento, além disso, houve a aplicação, aos 30 dias após a germinação, de Decis 25 EC para o controle de pragas.

#### 2.2.5. Avaliações

A altura das plantas foi determinada esticando-se a última folha totalmente aberta da planta para cima e medindo o comprimento com trena, o diâmetro do colmo foi estimado com o uso de paquímetro digital logo abaixo do primeiro nó, o conteúdo de clorofila total foi obtido

com uso de clorofilômetro (SPAD), para tal foram feitas 5 medições para cada planta ao longo de uma folha intermediária e obtida a respectiva média aritmética, e o número de folhas foi determinado a partir da contagem do número de folhas totalmente abertas.

Em seguida, as plantas foram retiradas dos vasos e tiveram suas partes (raiz, colmo e folhas) separadas e pesadas, para a obtenção da massa fresca desses componentes, as amostras foram então secas em estufa de circulação forçada de ar, a 60 °C, até peso constante para a obtenção da massa seca. As variáveis ecofisiológicas, taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, carbono intercelular, condutância estomática e transpiração foliar, foram determinadas com o uso do aparelho IRGA, as leituras foram realizadas das 9h às 11h da manhã ao longo de dois dias, nos quais foram efetuadas as leituras de metade das unidades experimentais em cada dia.

Posteriormente procedeu-se com a moagem do material em moinho tipo Willey, e retiradas sub-amostras nas quais foram determinados os teores dos macronutrientes N, P, K. Esse material foi levado a laboratório e submetido à análise através da metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), no qual os extratos resultantes desse processo possibilitaram a determinação dos teores de N, P, K.

Nesse método, pesa-se 200 mg da sub amostra moída e transfere-se para tubo de digestão seco, adiciona-se 0,7 g de mistura de digestão de sais (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O e Se), 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, posteriormente colocam-se os tubos no bloco digestor, aquecendo-os lentamente até 350 - 375 C e mantendo-os até a obtenção de um líquido viscoso esverdeado, de onde são transportados para balões volumétricos e aferidos com água destilada até 50 mL, após isso, as soluções são transferidas para frascos “snap-cap” de 90 mL, deixando decantar a parte sólida por algumas horas antes de retirar as alíquotas para a determinação de N, P e K.

Para o N, devem ser pipetados 10 mL do extrato para tubo de destilação de 100 mL, após isso, são adicionados 5 mL de NaOH (10 M) e inicia-se a destilação imediatamente, coletando-se 35 – 40 mL, que serão posteriormente titulados com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,025 M). Para o P, transfere-se uma alíquota de 1 mL do extrato para copo plástico descartável, com adição posterior de 2 mL de água destilada, 3 mL de molibdato de amônio e 3 gotas de ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico, agitando e determinando a concentração do nutriente em espectrômetro de absorção atômica a 660 nm após 15 min. Para determinação do K, retira-se uma alíquota de 1 mL e transfere-se para um copo plástico descartável, adicionando 10 mL de água destilada, e determinando a concentração do nutriente através de emissão de luz no espectrofotômetro de chama.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão linear simples, para tal, o processamento dos dados foi feito utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

**Figura 2.** Obtenção de variáveis ecofisiológicas através de leitura com o aparelho IRGA.



## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Variáveis ecofisiológicas

As características ecofisiológicas das plantas de sorgo e de outras culturas agem e interagem entre si e o ambiente, para determinar o rendimento da produção. A utilização das características ecofisiológicas como indicadoras para fins de melhoramento da produtividade de sorgo têm sido limitadas, no entanto, não significa que essas características não sejam responsáveis pelo limite da produtividade, porém são difíceis de identificação por causa das interações complexas entre os sistemas metabólicos e o ambiente. As trocas gasosas são de grande importância como ferramentas na determinação da adaptação das plantas aos meios de cultivo, isto porque, excluídos outros fatores, a redução na produtividade das culturas pode estar diretamente relacionada à redução na atividade fotossintética (PAIVA et al., 2005).

A tabela 4 contém um resumo referente à análise de variância dos dados ecofisiológicos estudados nesse experimento, que são: taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, carbono intercelular, condutância estomática, transpiração foliar e teor de clorofila total.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para os dados ecofisiológicos.

F.V	G.L	Taxa Assim. CO <sub>2</sub>	Carbono Intercelular	Transpiração Foliar	Condutância Estomática	Teor de Clorofila
N	3	95,59 **	716,43 ns	1,61 **	0,003 **	119,61**
K	3	29,52 **	744,03 ns	0,22 **	0,001 *	2,71 ns
NxK	9	5,58 ns	1632,81 **	0,04 ns	0,00 ns	4,26 ns
Resíduo	48	6,53	288,34	0,08	0,00	5,82
Média Geral		14,20	61,92	0,95	0,07	42,10
C.V (%)		18,00	27,42	28,74	20,23	5,73

Valores seguidos de \*\* e \* possuem significância a 1% e 5%, respectivamente.

Valores seguidos de ns não possuem significância.

### 2.3.1.1 Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>

A Taxa de assimilação líquida foi influenciada pelas doses de N e K (gráfico 1), mas não pela interação entre as duas. A maior dose de nitrogênio (320 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pela maior taxa de assimilação líquida média de CO<sub>2</sub> das plantas de sorgo (16,67 μmolCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), o que representa um aumento de 33,59% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>) que foi de 11,07 μmolCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Em relação ao potássio, a maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pela maior taxa de assimilação líquida média de CO<sub>2</sub> das plantas de sorgo (15,67 μmolCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), o que representa um aumento de 20,55% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>) que foi de 12,45 μmolCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

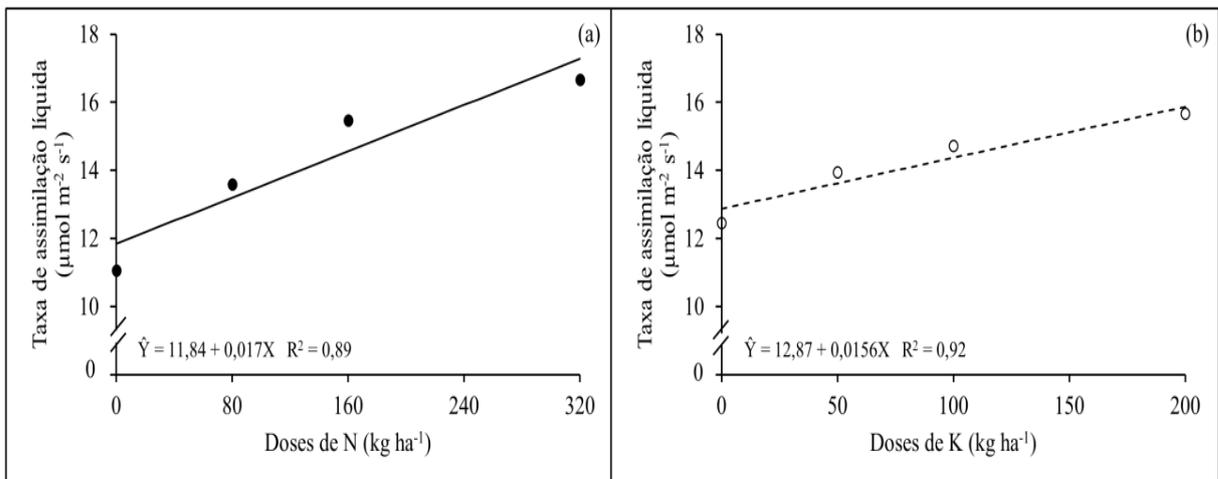
O aumento na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> está relacionado à maior concentração desse gás no interior das folhas, o que pode ocorrer como consequência direta ao fechamento estomático em resposta aos estresses abióticos (JADOSKI et al. 2005).

A concentração interna de CO<sub>2</sub> é importante pois a produtividade de uma planta é também fruto de como a energia solar é interceptada e do CO<sub>2</sub> fixado durante um período.

Quando há quantidades de luz adequadas e ausência de estresse, como déficit hídrico, concentrações mais altas desse gás proporcionam taxas fotossintéticas elevadas e satisfatórias, enquanto que em concentrações intercelulares de CO<sub>2</sub> muito baixas a fotossíntese é limitada (TAIZ e ZEIGER, 2006).

A maior taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> foi alcançada, portanto, em resposta às duas maiores doses de N e K. Isso se deve ao fato de o nitrogênio exercer funções fisiológicas importantes na formação de compostos orgânicos, e como constituinte desses compostos, o nutriente está envolvido em processos que ocorrem no protoplasma, em reações enzimáticas e na fotossíntese. Já o potássio atua como um osmorregulador, criando um gradiente osmótico que permite o movimento hídrico, fazendo a regulação da abertura e fechamento dos estômatos, portanto desempenha um papel essencial na turgescência das células, no transporte de carboidratos e na respiração celular vegetal (EPSTEIN & BLOOM, 2006; SHIMAZAKI et al., 2007).

**Gráfico 1.** Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> em função de doses de N (a) e K (b).

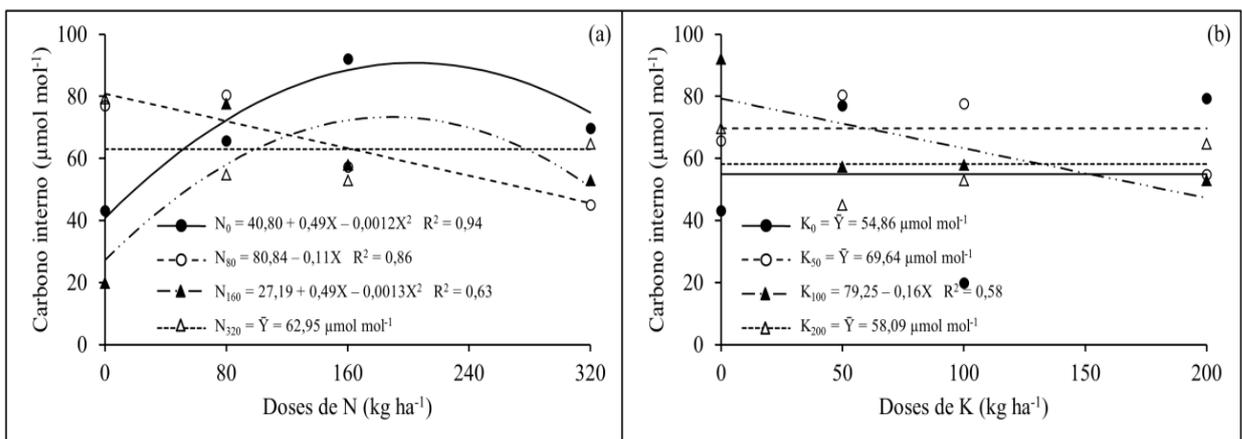


### 2.3.1.2 Carbono intercelular

A variável carbono intercelular não foi influenciada pelas doses de N e K, entretanto, houve efeito significativo nessa variável na interação das doses dos dois nutrientes. Dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo do carbono intercelular apresentado foi verificado quando foram utilizadas as doses de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  para N e  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  para K, o valor correspondeu à  $88,48 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ .

Houve tendência quadrática para a curva da primeira e da terceira dose no desdobramento de N nos níveis de K (gráfico 2), o comportamento apresentado pelas interações entre as doses de N e K não permite uma leitura clara o suficiente das doses adequadas ao incremento de carbono intercelular, haja vista que possuem variações bastante significativas quanto a sua tendência e ápices de valor máximo inexplicáveis, representados pela combinação de algumas das doses, isso aponta para a necessidade de investigações futuras sobre a mesma variável mantida dependente e a conservação desses fatores de variação.

**Gráfico 2.** Carbono intercelular em função das interações entre as doses de N x K.



### 2.3.1.3 Condutância estomática

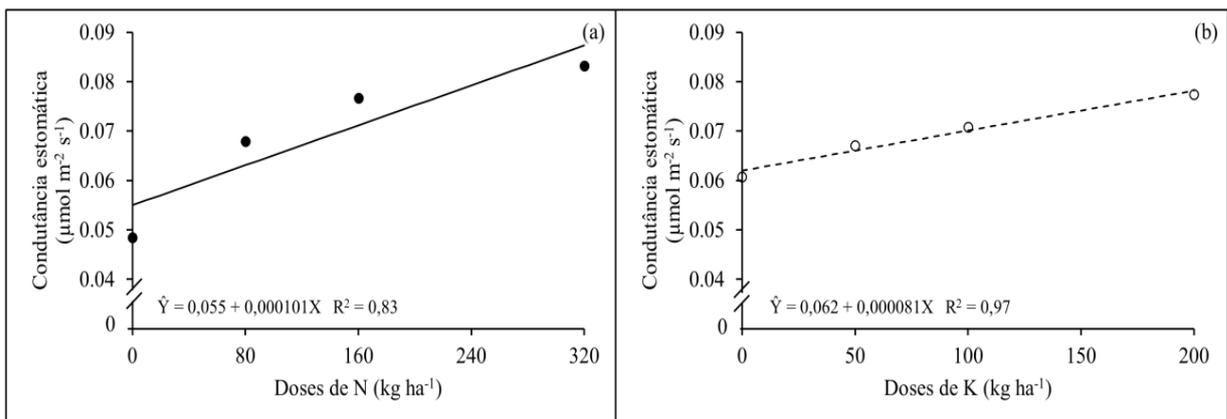
A condutância estomática (gs) foi influenciada pelas doses de N e K (gráfico 3), mas não pela interação entre as duas. A maior dose de nitrogênio (320 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior valor de gs das plantas de sorgo (0,083 mmolH<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), o que representa um aumento de 42,17% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>) que foi de 0,048 mmolH<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Em relação ao potássio, a maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior valor de gs das plantas de sorgo (0,077 mmolH<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), o que representa um aumento de 22,08% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>) que foi de 0,060 mmolH<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

A resistência associada à difusão através dos estômatos, ou seja, a resistência estomática, indica o grau de abertura dos estômatos, sendo que quanto maior a resistência estomática, menor o grau de abertura, a condutância estomática (gs) é exatamente o inverso dessa resistência.

Na maioria das plantas herbáceas a condutância estomática oscila entre 300 e 500  $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (LARCHER 2006), os resultados extremamente abaixo dessa faixa obtidos neste experimento podem ser explicados devido ao horário da tomada desses dados nas plantas, condição esta que proporcionou um baixo grau de abertura nessas células, devido à alta temperatura na casa de vegetação.

**Gráfico 3.** Condutância estomática (gs) em função de doses de N (a) e K (b).



#### 2.3.1.4 Transpiração foliar

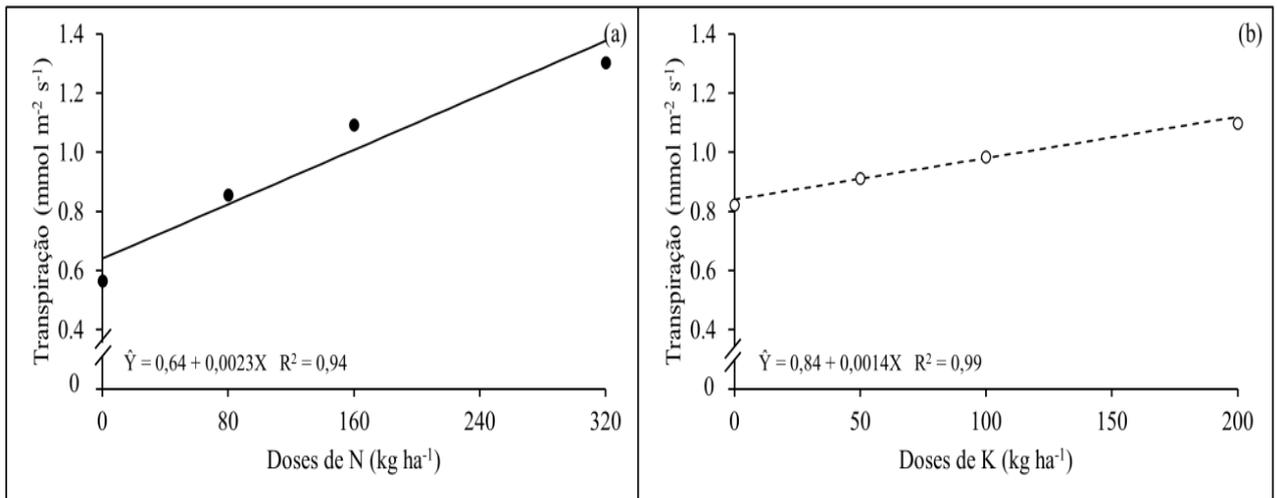
A transpiração foliar foi influenciada pelas doses de N e K (gráfico 4), mas não pela interação entre as duas. A maior dose de nitrogênio ( $320 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi responsável pelo maior valor de transpiração foliar das plantas de sorgo ( $1,30 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), o que representa um aumento de 56,92% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que foi de  $0,56 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Em relação ao potássio, a maior dose ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi responsável pelo maior valor de E das plantas de sorgo ( $1,10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), o que representa um aumento de 24,52% em relação à média dessa mesma variável nas plantas submetidas a menor dose desse nutriente ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que foi de  $0,82 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

A absorção de dióxido de carbono do meio externo, durante as trocas gasosas, promove perda de água, entretanto, a diminuição dessa perda também restringe a entrada de  $\text{CO}_2$  (SHIMAZAKI et al., 2007). Desse modo, estabelece-se uma relação de interdependência entre a fotossíntese e a transpiração que determina a eficiência no uso da água, em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (TAIZ e ZEIGER, 2006).

Segundo Inoue e Ribeiro (1988), a transpiração é um fenômeno influenciado principalmente pela temperatura e a saturação de vapor d'água. Os maiores agentes influenciadores desse processo são, sem dúvida, as condições climáticas às quais estão sujeitas as plantas, porém, condições nutricionais adequadas tendem a promover maiores taxas fotossintéticas, proporcionando rendimentos superiores.

**Gráfico 4.** Transpiração foliar (E) em função de doses de N (a) e K (b).



### 2.3.1.5 Teor de clorofila total

O conteúdo de clorofila total foi influenciado somente pelas doses de N, não respondendo às doses de potássio nem à interação das doses dos dois nutrientes. O maior conteúdo de clorofila verificado se deu nos tratamentos cuja dose de N foi a de 320 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a média dessa variável 44,56 SPAD para as plantas tratadas com a respectiva dose, o que representa um aumento de 13,73 % em relação ao conteúdo médio expresso pelas plantas submetidas à dose controle de N, que foi de 38,44 SPAD (gráfico 5).

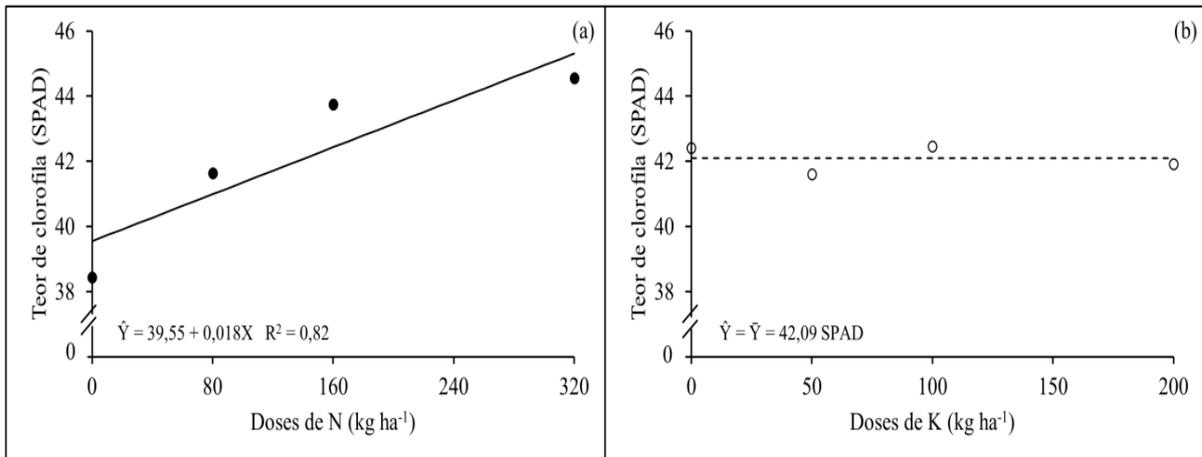
Resultados semelhantes foram alcançados por Uchino et al. (2013), os quais cultivaram um híbrido de sorgo numa região semiárida indiana utilizando doses crescentes de N (0; 30; 60; 90; 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas via uso de uréia. O experimento foi desenvolvido no ano de 2009 e replicado em 2010, os resultados obtidos mostraram, nos dois anos, que as maiores doses a partir de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionaram incremento no conteúdo de clorofila superior ao ganho observado nas plantas tratadas com as menores doses.

De modo análogo, Kappes (2014) constatou um aumento linear do índice de clorofila foliar em plantas de milho ao testar incremento de doses de nitrogênio (0; 50; 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). Essa resposta é atribuída ao papel do nitrogênio como componente estrutural no metabolismo

das plantas, como participação direta na biossíntese de proteínas e clorofilas (ANDRADE et al., 2003).

Segundo Lavres Junior & Monteiro (2006), outros estudos também apontam para o fato de que os teores de clorofila podem ser considerados indicadores da quantidade de nitrogênio presente nos tecidos vegetais, em diversas culturas.

**Gráfico 5.** Teor de clorofila total em função de doses de N (a) e K (b).



### 2.3.2 Teores de nutrientes nas raízes e folhas

A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com o requerimento da cultura, em quantidade, forma e tempo. Desse modo, a adubação deve envolver, entre outros aspectos, o requerimento nutricional de acordo com a finalidade de exploração (grãos ou forragem), os padrões de absorção e o acúmulo dos nutrientes, principalmente N e K (BULL e CANTARELLA, 1993).

Para manter a fertilidade do solo é necessário que se procure efetuar a restituição dos nutrientes extraídos pelas culturas, bem como dos nutrientes lixiviados e perdidos pelos processos de lixiviação e erosão. A finalidade da adubação é de devolver ao solo as quantidades de nutrientes exportadas pelas plantas, o que inclui a restituição das quantidades de macro e micronutrientes exportados pelas colheitas (Maggio, 2006).

A tabela 5 contém um resumo referente à análise de variância dos teores de nutrientes nas plantas de sorgo estudados nesse experimento, os nutrientes em questão são o N, o P e o K, quantificados nas raízes e nas folhas, excluídos os teores presentes no colmo, pois trata-se de um tecido bastante dinâmico e de translocação nutricional intensa, portanto, a determinação nesse último não foi realizada.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes (N, P e K) nas raízes e folhas.

FV	GL	N-raiz	N-folhas	P-raiz	P-folhas	K-raiz	K-folhas
Doses N	3	216,52 **	47,46 ns	1,37 ns	2,97 ns	22,71 **	38,57 **
Doses K	3	24,11 ns	3,68 ns	1,79 ns	7,12 **	69,03 **	52,54 **
N*K	9	15,43 ns	37,358 ns	3,20 **	5,62 **	8,06 **	12,37 **
Resíduo	48	16,76	20,99	0,88	1,42	2,00	2,92
Média geral		15,83	16,82	4,13	4,44	9,04	8,83
CV (%)		25,86	27,23	22,68	26,84	15,65	19,36

Valores seguidos de \*\* e \* possuem significância a 1% e 5%, respectivamente.

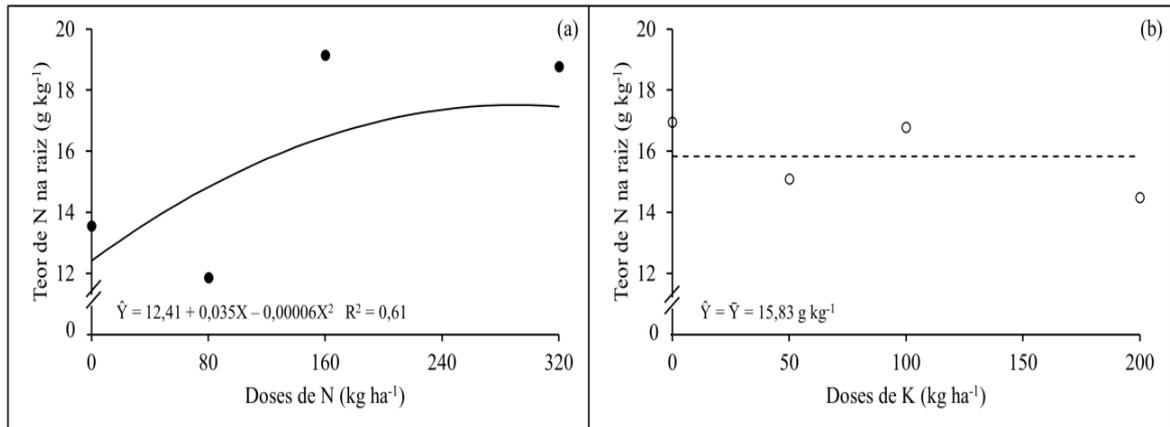
Valores seguidos de ns não possuem significância.

### 2.3.2.1 Teor de N nas raízes e folhas

O teor de N na raiz foi influenciado apenas pelas doses crescentes de N, sendo que a terceira dose de N (160 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior teor desse nutriente encontrado nas raízes das plantas (19,15 g/Kg), o que representa um aumento de 38,07 % em relação ao menor teor médio apresentado em resposta à segunda dose do nutriente, 80 kg ha<sup>-1</sup> que foi de 11,56 g/Kg (gráfico 5). Para o teor de N nas folhas, não houve efeito significativo de nenhuma das fontes de variação.

Esses teores foram abaixo dos referenciais para a cultura do sorgo, conforme Martinez et al. (1999), o qual apontou que os níveis mais adequados à cultura se situam entre 23,1 e 29,0 g/kg. A assimilação relativamente pequena do N, provavelmente se deve ao fato de este elemento apresentar um caráter altamente móvel no solo, através da lixiviação do NO<sup>-3</sup> aliada à volatilização do NH<sup>+4</sup>, as perdas de N bem como pequenas taxas de assimilação do elemento pelas raízes de várias culturas são casos bem recorrentes, principalmente em climas tropicais, nos quais as perdas de N são observadas não só pelas altas taxas de precipitação, mas como pela alta necessidade de irrigação das culturas, por conta do alto índice de evapotranspiração dessas regiões.

O N tem grande importância para a produtividade das plantas, pois está diretamente envolvido no processo da fotossíntese. Em condições de baixa disponibilidade de N, portanto, vários processos fisiológicos da planta são afetados, até mesmo a absorção dos outros macronutrientes secundários, que são o Ca, o Mg e o S (Carelli et al., 1996; Santi et al., 2006).

**Gráfico 5.** Teor de N nas raízes em função das doses de N (a) e K (b).

### 2.3.2.2 Teor de P nas raízes e folhas

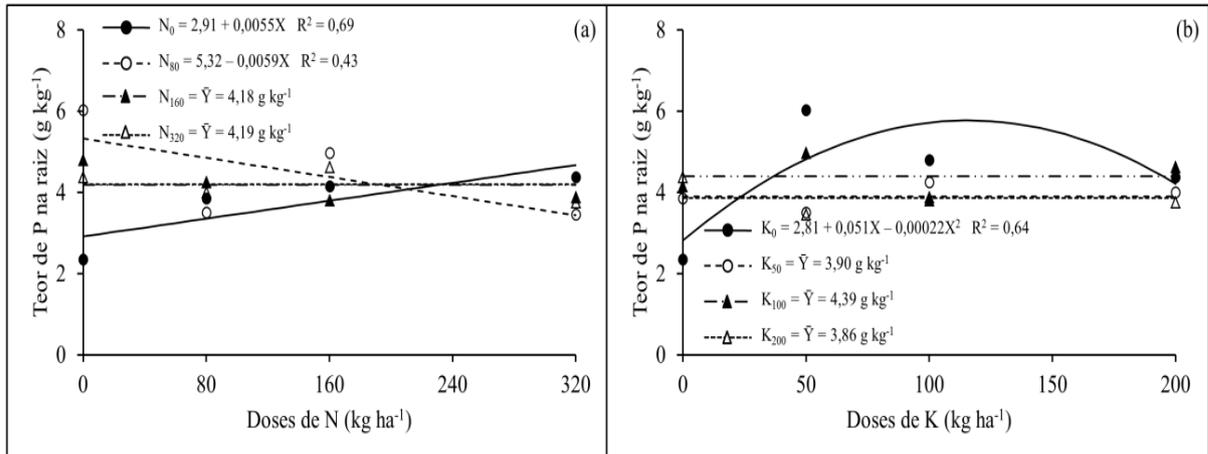
O teor de P nas raízes sofreu influência da interação entre as doses de N e K, dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo de P na raiz verificado no desdobramento das doses de N nos níveis de K correspondeu à 6,02 g/Kg, produto da interação entre as doses de 0 kg ha<sup>-1</sup> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Adicionalmente, foi obtida boa concentração de P como resposta à combinação das doses de 160 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de P de 4,98 g/kg.

A menor concentração de P nas raízes em relação ao desdobramento das doses de N nos níveis de K foi de 2,35 g/Kg, produto da interação entre as doses controle de N e K. O gráfico 6 ilustra o comportamento dessa variável em relação à interação das doses, é possível verificar que houve ajuste de curva quadrático para as menores doses de K (0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>) e ajuste linear para as maiores doses desse nutriente (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para o teor de P nas raízes como resposta ao desdobramento das doses de K nos níveis de N, é possível verificar que o valor máximo de P na raiz correspondeu à 6,03 g/Kg, produto da interação entre as doses de 80 kg ha<sup>-1</sup> e 0 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Adicionalmente, foi obtida boa concentração de P como resposta à combinação das doses de 160 e 0 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de P de 4,80 g/kg.

A menor concentração de P nas raízes em relação ao desdobramento das doses de K nos níveis de N também foi de 2,35 g/Kg, produto da interação entre as doses controle de N e K (gráfico 6). Houve ajuste de curva quadrático somente para a menor dose de N (0 kg ha<sup>-1</sup>) e ajuste linear para as demais doses desse nutriente (80, 160 e 320 kg ha<sup>-1</sup>).

**Gráfico 6.** Teor de P nas raízes em função do desdobramento das doses de N nos níveis de K (a) e do desdobramento das doses de K nos níveis de N (b).



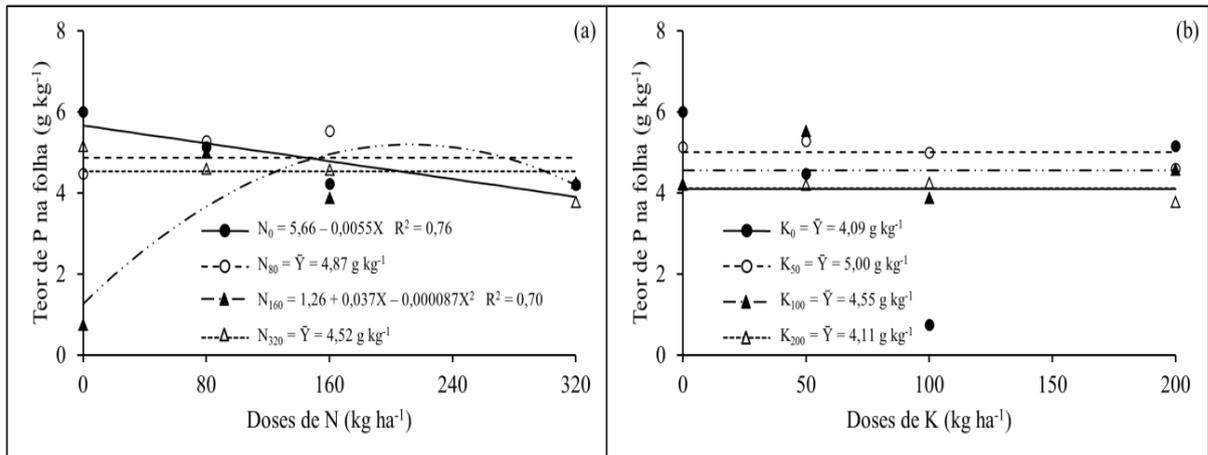
O teor de P nas folhas também sofreu influência da interação entre as doses de N e K, dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo do teor de P nas folhas verificado no desdobramento das doses de N nos níveis de K correspondeu à 6 g/Kg, produto da interação entre as doses controle de N e K. Adicionalmente, foi obtida boa concentração de P como resposta à combinação das doses de 160 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de P de 5,53 g/kg.

A menor concentração de P nas folhas em relação ao desdobramento das doses de N nos níveis de K foi de 0,75 g/Kg, produto da interação entre as doses de 0 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. O gráfico 7 ilustra o comportamento dessa variável em relação à interação das doses, é possível verificar que houve ajuste de curva quadrático para as doses de 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K e ajuste linear para as outras doses (50 e 200 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para o teor de P nas folhas como resposta ao desdobramento das doses de K nos níveis de N, é possível verificar que o valor máximo de P nas folhas também correspondeu à 6 g/Kg, produto da interação entre as doses controle de N e K. Houve também um satisfatório teor de P como resposta à combinação das doses de 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de P de 5,25 g/kg.

A menor concentração de P nas folhas em relação a esse desdobramento foi de 0,75 g/Kg, produto da interação entre as doses de 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente (gráfico 7). Houveram apenas ajustes de curva linear para esse desdobramento.

**Gráfico 7.** Teor de P nas folhas em função do desdobramento das doses de N nos níveis de K (a) e do desdobramento das doses de K nos níveis de N (b).



Dentre suas inúmeras funções, o fósforo contribui aumentando a eficiência do nitrogênio absorvido, o qual se une às cadeias carbonadas, incrementando, assim, a formação de novos tecidos e, conseqüentemente, a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas (TAIZ & ZEIGER, 2006). A dinâmica de absorção dos nutrientes em geral está inteiramente relacionada à concentração, maior ou menor, de um deles ou mais, sendo essas relações definidas como antagonismo e sinergismo.

Segundo Perreira et. al (2014), a adubação com os nutrientes N e K aumentou os teores foliares de N, P, K e S e diminuiu os de Ca e Mg. Apesar das maiores doses dos nutrientes N e K não terem colaborado de forma clara neste estudo para o aumento do teor de P nas raízes e folhas, o teor de P foi considerado satisfatório para a maioria dos tratamentos, pois o valor adequado se concentra em torno de 4,4 g/Kg (MARTINEZ et. al, 1999).

### 2.3.2.3 Teor de K nas raízes e folhas

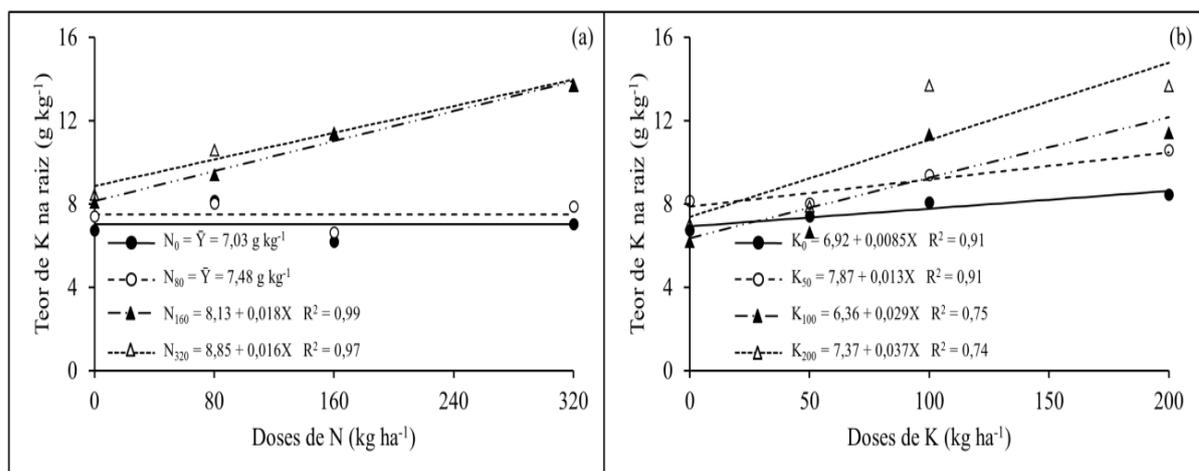
O teor de K nas raízes sofreu influência das três fontes de variação, doses de N, doses de K e a interação entre as doses de ambos, dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo de K na raiz verificado no desdobramento das doses de N nos níveis de K correspondeu à 13,7 g/Kg, produto da interação entre as doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Adicionalmente, foi obtida boa concentração de K nas raízes como resposta à combinação das doses de 320 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de K de 13,68 g/kg.

A menor concentração de K nas raízes em relação ao desdobramento das doses de N nos níveis de K foi de 6,20 g/Kg, produto da interação entre as doses de 160 e 0 kg ha<sup>-1</sup> N e K, respectivamente. O gráfico 8 ilustra o comportamento dessa variável em relação à interação das doses, é possível verificar que houve ajuste de curva quadrático para as duas maiores doses de K (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e ajuste linear para as duas menores doses desse nutriente (0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para o teor de K nas raízes como resposta ao desdobramento das doses de K nos níveis de N, é possível verificar que o valor máximo de K na raiz correspondeu à 13,70 g/Kg, produto da interação entre as doses de 160 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Também foi encontrado um teor de K bastante satisfatório como resposta à combinação das doses de 320 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de K de 13,67 g/kg nas raízes.

A menor concentração de K nas raízes em relação ao desdobramento das doses de K nos níveis de N também foi de 6,20 g/Kg, produto da interação entre as doses 160 e 0 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente (gráfico 6). Todos os ajustes de curvas foram quadráticos para esse desdobramento.

**Gráfico 8.** Teor de K nas raízes em função do desdobramento das doses de N nos níveis de K (a) e do desdobramento das doses de K nos níveis de N (b).



O teor de K nas folhas também sofreu influência das três fontes de variação, doses de N, doses de K e a interação entre as doses de ambos, dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo de K nas folhas verificado no desdobramento das doses de N nos níveis de K correspondeu à 13 g/Kg, produto da interação entre as doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Além disso, foi obtida concentração satisfatória no teor foliar de

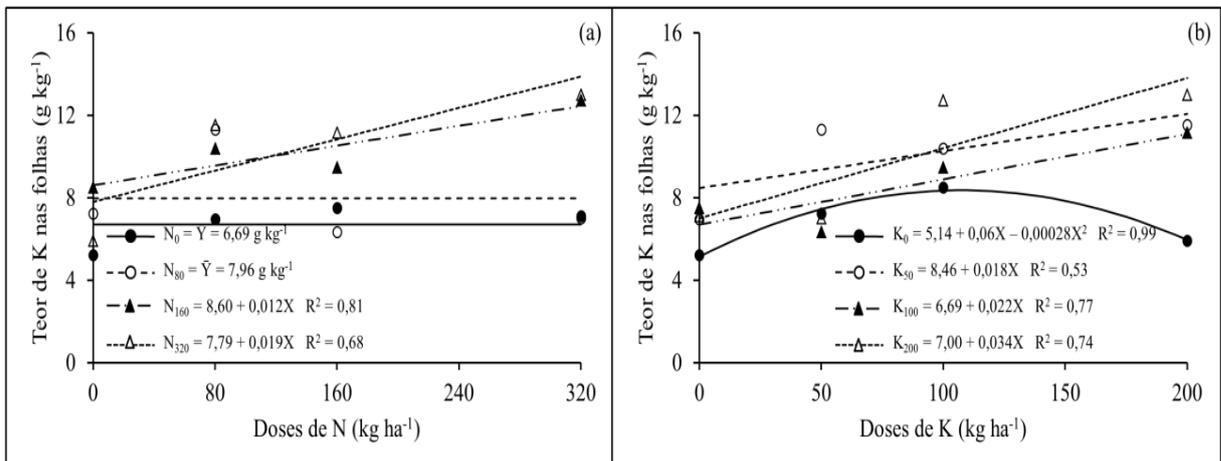
K como resposta à combinação das doses de 80 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de K de 11,52 g/kg.

A menor concentração de K nos tecidos foliares em relação ao desdobramento das doses de N nos níveis de K foi de 5,23 g/Kg, produto da interação entre as doses controles de N e K. O gráfico 9 apresenta o comportamento dessa variável em relação à interação das doses, é possível verificar que houve ajuste de curva quadrático para as duas maiores doses de K (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e ajuste linear para as duas menores doses desse nutriente (0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para o teor foliar de K como resposta ao desdobramento das doses de K nos níveis de N, é possível verificar que o valor máximo de K nas folhas correspondeu à 13 g/Kg, também produto da interação entre as doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Também foi encontrado um teor de K bastante satisfatório como resposta à combinação das doses de 320 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao teor de K de 12,73 g/kg nas folhas.

A menor concentração foliar de K em relação ao desdobramento das doses de K nos níveis de N também foi de 5,23 g/Kg, produto da interação entre as doses controle de N e K, (gráfico 9). Todos os ajustes de curvas foram quadráticos para esse desdobramento.

**Gráfico 9.** Teor de K nas folhas em função do desdobramento das doses de N nos níveis de K (a) e do desdobramento das doses de K nos níveis de N (b).



Segundo Martinez et al. (1999), o teor adequado de K nos tecidos das plantas de sorgo situa-se entre 13 e 30 g/kg, sendo assim, a maioria das médias apresentadas pelas plantas submetidas aos diferentes tratamentos foi satisfatória. De acordo com Galvão et al. (2015), as doses de potássio (50, 100, 200 e 300 kg há<sup>-1</sup>) proporcionam aumento linear significativo nos teores de K no tecido vegetal da massa seca da parte aérea do sorgo, efeito que foi obtido de

forma similar neste estudo. Ainda segundo o mesmo autor, o teor de K é menor nas folhas, por ser o K bastante alocado no colmo, por isso a concentração de potássio ter sido maior nas raízes em comparação às folhas, neste estudo.

Aumentos lineares nos teores de K em função das doses de N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup> e 120 kg ha<sup>-1</sup>) também foram obtidos por Valderrama et al. (2011) em milho irrigado sob plantio direto, o teor de K foliar foi influenciado, positivamente, pelo aumento das doses de N, com os dados se ajustando a uma equação linear crescente.

### 2.3.3 Variáveis fitométricas

As características morfológicas das plantas de sorgo são determinadas por vários fatores, dentre os quais estão relacionados o clima, o material genético utilizado, condições de solo etc. Tais características são de suma importância para a determinação da produtividade, seja de grãos ou forragem, pois apesar de não serem os únicos determinantes desse resultado, as características fenológicas expressam diretamente a capacidade das plantas de absorção de nutrientes, captação de energia solar para realização da fotossíntese e até mesmo susceptibilidade à pragas e doenças.

As variáveis fitométricas tomadas nesse experimento incluem: altura; Número de folhas; Diâmetro do colmo; E massa da matéria seca da raiz, colmo e folhas. A tabela 6 contém um resumo da análise de variância para essas variáveis.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para as variáveis fitométricas.

F.V	G.L	Altura	N.		MS		MS	
			Folhas	Colmo	Raiz	Colmo	Folha	
N	3	1429,68 **	0,65 ns	0,33 **	0,77 **	1,28 **	4,51 **	
K	3	90,43 ns	0,36 ns	0,057 **	0,94 **	3,57 **	2,95 **	
NxK	9	95,31 ns	0,65 ns	0,005 ns	0,15 *	0,30 ns	0,44 ns	
Resíduo	48	65,38	0,49	0,009	0,28	0,22	0,51	
Média		78,61	8,42	0,853	0,84	1,79	3,04	
Geral								
C.V (%)		10,29	8,35	11,36	29,39	26,5	23,53	

Valores seguidos de \*\* e \* possuem significância a 1% e 5%, respectivamente.

Valores seguidos de ns não possuem significância.

### 2.3.3.1 Altura e diâmetro do colmo das plantas

A altura das plantas foi influenciada somente pelas doses de N, via aplicação de uréia, e não respondeu às doses de K nem à interação das doses dos dois nutrientes. A maior dose de N (320 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pela maior altura média das plantas de sorgo (86 cm), o que representa um aumento de 23,47 % em relação à altura média das plantas submetidas a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>) que foi de 65,81 cm (gráfico 10).

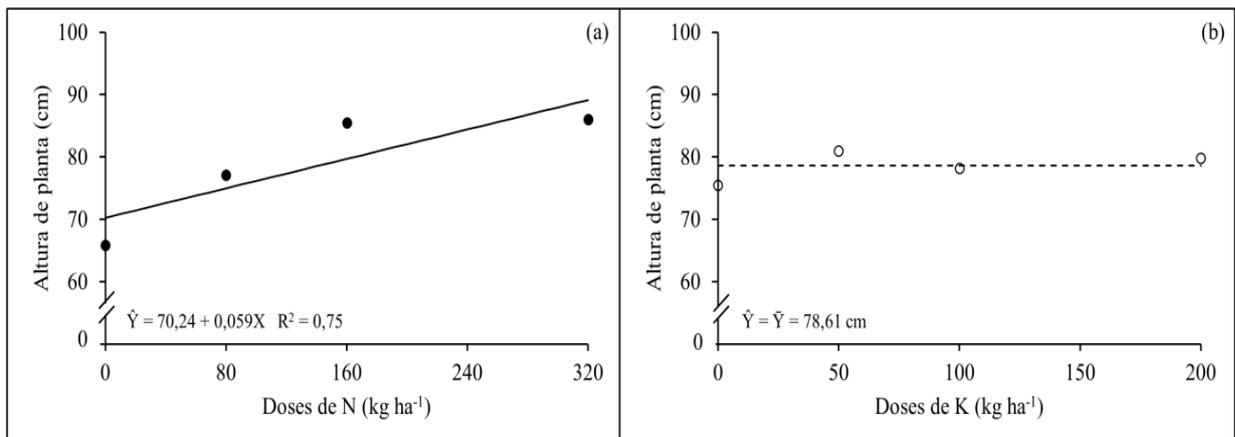
Esses resultados diferem das recomendações propostas por Cravo, Viégas e Brasil (2007) para as culturas de sorgo granífero e forrageiro, que recomendam adubação nitrogenada para o Estado do Pará de 40 kg ha<sup>-1</sup> no ato do plantio e, posteriormente, 90 kg ha<sup>-1</sup> em adubação de cobertura.

Outros resultados, porém, assemelham-se aos mencionados neste trabalho, tal como os obtidos por Almodares, Usufzadeh e Daneshvar (2013), dos quais a dose de uréia responsável pela maior altura das plantas de sorgo foi a de 300 kg ha<sup>-1</sup>.

A fertilização nitrogenada está muitas vezes relacionada ao crescimento vegetativo de várias espécies na literatura, isso se deve ao fato de o nitrogênio ser, para a maioria das espécies vegetais, o nutriente requisitado em maiores quantidades, pois seu papel principal na nutrição de plantas é o de constituinte de muitos componentes da célula vegetal, fazendo parte da composição de aminoácidos e ácidos nucléicos.

Sendo assim, a deficiência de nitrogênio provoca inibição no crescimento das plantas e, em contrapartida, uma adequada nutrição com esse elemento proporciona um crescimento satisfatório, incluído neste à altura das plantas.

**Gráfico 10.** Altura das plantas (cm) em função de doses de N (a) e K (b).

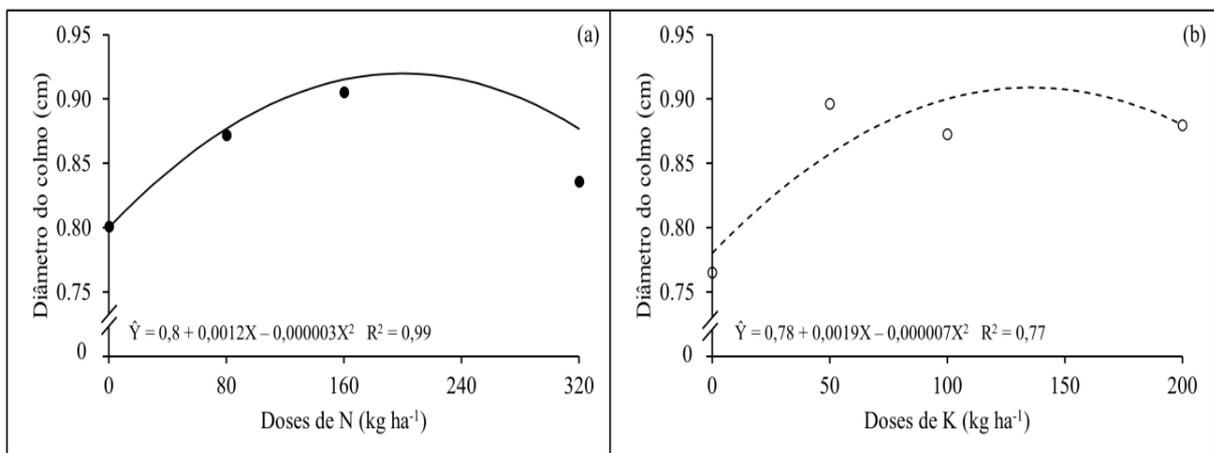


A variável diâmetro do colmo foi influenciada pelas doses de N e K, mas não pela interação entre essas duas fontes de variação. As doses de N e K responsáveis pela maior média de diâmetro do colmo das plantas de sorgo (0,90 cm) foram as de 160 kg ha<sup>-1</sup> e 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o que representa um aumento de 11,11 % em relação ao diâmetro do colmo das plantas submetidas à dose controle de N (0,80 cm), e 15,56 % em relação ao diâmetro das plantas sujeitas à dose controle de K, que foi de 0,76 cm (gráfico 11).

Para essa variável houve maior proximidade ao valor de adubação nitrogenada recomendado por Cravo, Viégas e Brasil (2007), que, como mencionado anteriormente, é de 130 kg ha<sup>-1</sup> (40 kg ha<sup>-1</sup> no plantio e 90 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura) para uma produção esperada superior a 8 t ha<sup>-1</sup>. O mesmo fato foi observado para a adubação potássica, a qual, segundo a recomendação dos autores, deve ser de 100 kg ha<sup>-1</sup> para solos com teores de K<sup>+</sup> inferiores a 40 mg dm<sup>-3</sup> e para uma produção igualmente superior a 8 t ha<sup>-1</sup>.

De acordo com Almodares, Usfzadeh e Daneshvar (2013), o diâmetro das plantas de sorgo também foi influenciado pelas doses de N, sendo a maior média de diâmetro correspondente ao grupo de plantas que recebeu a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, nesse caso, houve pouca similaridade entre as doses tidas como mais eficientes, entretanto, isto pode ser devido ao efeito adicional do potássio neste experimento e/ou ao padrão de absorção e translocação distintos entre os cultivares utilizados nos dois estudos.

**Gráfico 11.** Diâmetro do colmo (cm) em função de doses de N (a) e K (b).



### 2.3.3.2 Número de folhas

O número de folhas não foi influenciado pelas doses de nitrogênio e potássio, tampouco pela interação entre as doses de ambos. A média do número de folhas foi semelhante para cada

tratamento, situando-se entre 8 e 9 folhas, o que condiz com o número de folhas estimado para o estágio fenológico ao qual as plantas estavam no momento de avaliação dessa característica (V3), que é de 10 folhas, aproximadamente.

Outros trabalhos, porém, registram influência da adubação sob essa variável, como o experimento conduzido por Neto et al. (2010), onde o número de folhas foi influenciado por um dos esquemas de adubação verde (7 espécies de leguminosas) utilizados, nesse estudo, o sorgo forrageiro BR 601 submetido ao cultivo em consórcio com mucuna-preta, obteve o maior número de folhas aos 100 dias após a semeadura.

Um maior número de folhas no sorgo aumenta a superfície de absorção de luz solar, o que proporciona aumento no processo fotossintético e na quantidade de massa verde, sendo isso vantajoso ao uso dessa planta como forragem.

#### 2.3.3.3 Massa da matéria seca da raiz

A massa da matéria seca das raízes sofreu influência das três fontes de variação, doses de N, doses de K e a interação entre as doses de ambos, dentre as médias de interações entre as doses, o valor máximo da matéria seca nas raízes verificado no desdobramento das doses de N nos níveis de K correspondeu à 1,58 g planta<sup>-1</sup>, produto da interação entre as doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente. Além disso, foi obtida concentração satisfatória para essa variável como resposta à combinação das doses de 160 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e K, respectivamente, correspondendo ao valor de 1,31 g planta<sup>-1</sup>.

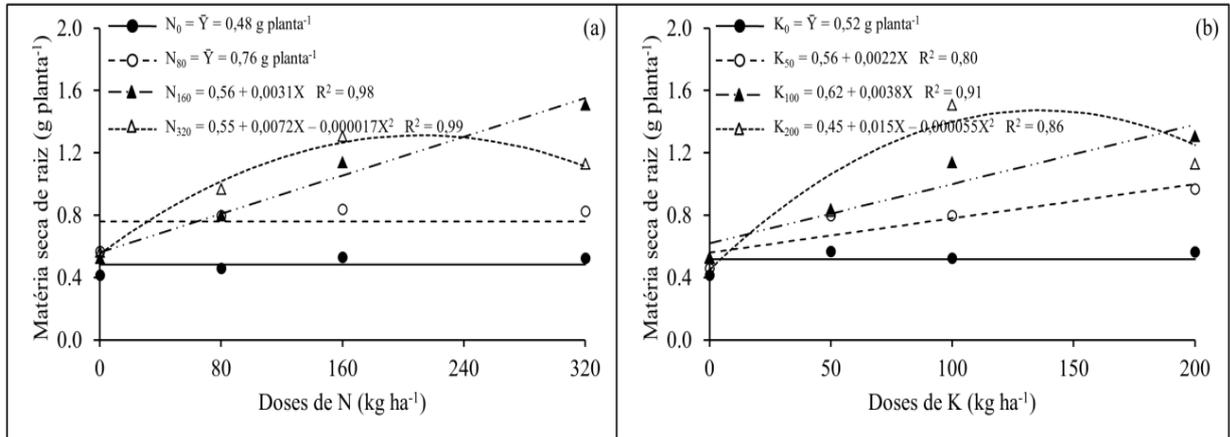
O menor valor de matéria seca encontrado nos tecidos radiculares em relação ao desdobramento das doses de N nos níveis de K foi de 0,43 g planta<sup>-1</sup> produto da interação entre as doses controles de N e K. O gráfico 12 apresenta o comportamento dessa variável em relação à interação das doses, é possível verificar que houve ajuste de curva quadrático para a maior doses de K (200 kg ha<sup>-1</sup>) e ajuste linear para as demais doses desse nutriente (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>).

O desenvolvimento das raízes nas plantas de sorgo está relacionado a vários fatores, dentre os quais, a umidade no solo e a disponibilidade de fotoassimilados advindos das folhas são os principais (MILTHORPE & MOORBY 1979). Por isso, a correlação entre um bom aporte nutricional e uma boa produção de fotoassimilados proporciona um desenvolvimento satisfatório das raízes, e por conseguinte, das plantas.

O bom desenvolvimento da zona radicular é um dos principais fatores que asseguram um bom uso de água e a tolerância à seca, características bem evidenciadas nas planta de sorgo,

as quais só são possibilitadas devido ao sistema radicular profundo e denso (DOGGET 1970; FARRÉ E FACI, 2006; ASSEFA E STAGGENBORG, 2011).

**Gráfico 12.** Massa da matéria seca da raiz em função da interação de doses de N (a) e K (b).

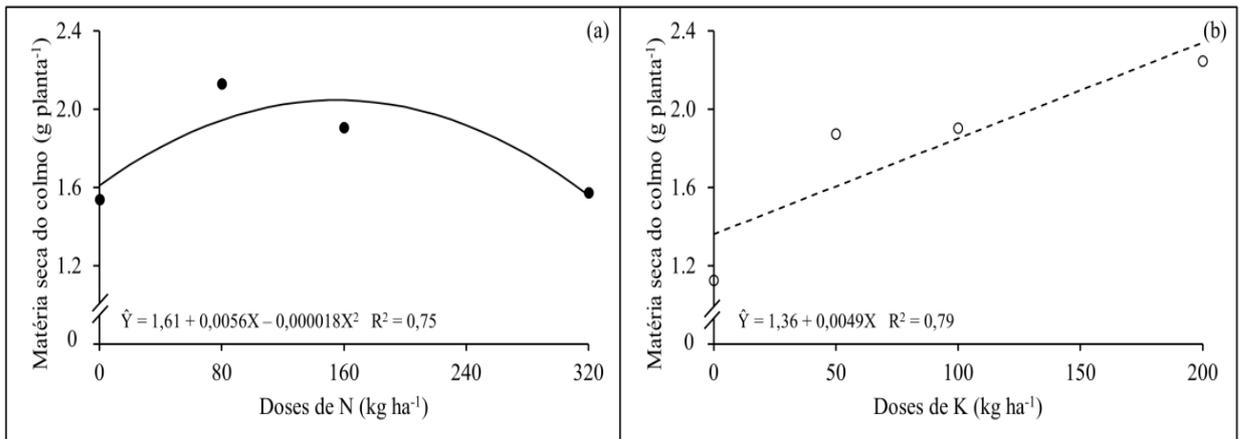


#### 2.3.3.4 Massa da matéria seca do colmo

A massa da matéria seca do colmo foi influenciada pelas doses de N e K, mas não pela interação de ambas as doses. A segunda dose de N (80 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior acúmulo de massa seca do colmo nas plantas (2,13 g), o que representa um aumento de 28,17 % em relação ao menor acúmulo médio apresentado em resposta a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>), que foi de 1,53 g. Em relação ao K, a maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior acúmulo de massa seca do colmo nas plantas (2,25 g), o que representa um aumento de 50,22 % em relação ao menor acúmulo médio apresentado em resposta a menor dose de K (0 kg ha<sup>-1</sup>), que foi de 1,12 g (gráfico 13).

Santos et al. (2014), ao estudarem a adubação envolvendo quatro doses de N (0, 80, 160 e 240 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro de K<sub>2</sub>O (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) em cobertura em dois cultivares de sorgo biomassa (CMSXS 7020 e CMSXS 652), constataram que os efeitos significativos para a produção de matéria seca se deram nas interações N/K<sub>2</sub>O 60, N/K<sub>2</sub>O 180 e K<sub>2</sub>O/N 240, os quais corresponderam às doses máximas de 168,72 kg ha<sup>-1</sup> de N, 81,09 kg ha<sup>-1</sup> de N e 91,86 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente, para o cultivar CMSXS 7020. Para o CMSXS 652, a máxima produtividade de matéria seca de sorgo foi obtida com a dose de 148,3 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Apesar desses resultados, não houve, no trabalho anterior, influência sobre o efeito da adubação N x K na porcentagem de colmo, a qual variou de 73 a 80% da matéria seca total.

**Gráfico 13.** Massa da matéria seca do colmo em função da interação de doses de N (a) e K (b).

### 2.3.3.5 Massa da matéria seca das folhas

A massa da matéria seca das folhas foi influenciada pelas doses de N e K, porém não houve significância para a interação entre ambas. A terceira dose de N (160 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior acúmulo de massa seca nas folhas das plantas (3,62 g), o que representa um aumento de 35,63 % em relação ao menor acúmulo médio apresentado em resposta a menor dose do fertilizante (0 kg ha<sup>-1</sup>), que foi de 2,33 g.

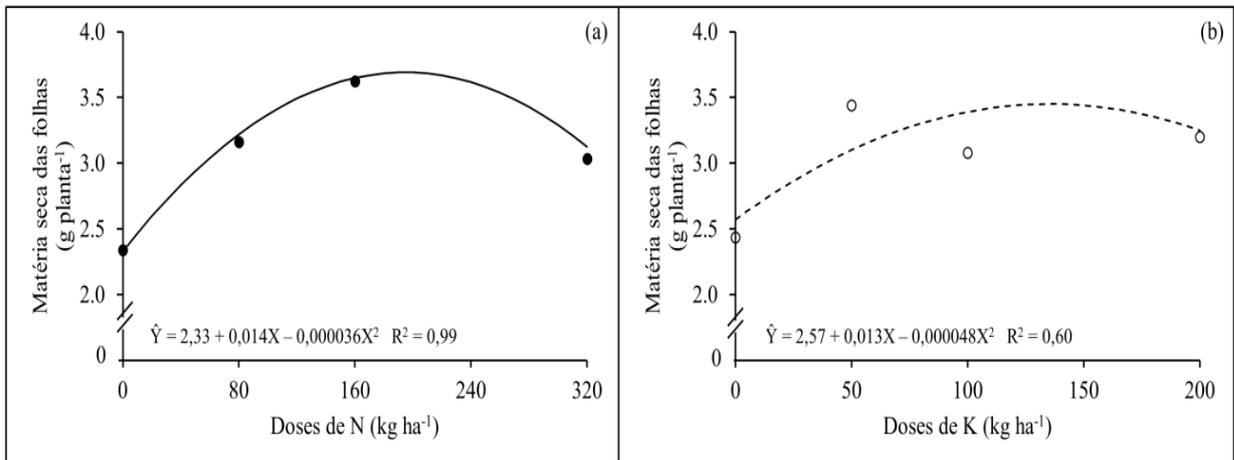
Em relação ao K, a segunda dose (50 kg ha<sup>-1</sup>) foi responsável pelo maior acúmulo de massa seca das folhas nas plantas (3,44 g), o que representa um aumento de 29,07% em relação ao menor acúmulo médio apresentado em resposta a menor dose desse nutriente (0 kg ha<sup>-1</sup>), que foi de 2,44 g (gráfico 14).

Durante o ciclo do sorgo, a planta depende bastante das folhas, sendo esses órgãos responsáveis pela maior taxa fotossintética em todo o vegetal, portanto, a taxa de crescimento da planta depende tanto da taxa de expansão da área foliar, como da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar. A fotossíntese é o processo motor da produção de cerca de 90% a 95% da matéria seca fornecida ao vegetal, tendo também como papel fornecer energia metabólica necessária para o desenvolvimento dessas plantas (KRIEG, 1983).

Macedo et al. (2012), avaliaram a resposta produtiva de híbridos BR 601 de sorgo submetidos ao incremento da adubação nitrogenada, os tratamentos foram constituídos de 4 doses (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) de N através da aplicação de sulfato de amônio. Os autores encontraram uma relação quadrática ao incremento da adubação nitrogenada, bem como o ponto de máxima para a produção de matéria seca foi a dose de 155,67 kg ha<sup>-1</sup> de N para uma

produção de 16275 kg ha, entretanto, os percentuais de matéria seca de lâmina foliar e material morto na planta não diferiram entre os tratamentos.

**Gráfico 14.** Massa da matéria seca das folhas em função da interação de doses de N (a) e K (b).



## 2.4 Conclusão

Todas as variáveis ecofisiológicas foram influenciadas pelas doses de N e K como fontes de variação separadas, exceto a variável carbono intercelular e o teor de clorofila total. Para a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, houve ganhos na ordem de 33,59 % e 20,55 % na aplicação das doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> em relação às doses controle. Para a condutância estomática, houve incremento de 42,17 % e 22,08 % com a aplicação das doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup>. Para a transpiração, houve aumento de 56,92 % e 24,52 % com a aplicação das mesmas doses, e para o teor de clorofila total houve apenas influência das doses de N, havendo aumento de 13,73 % em relação à dose controle.

Houve acúmulo superior de N nas raízes de 38,07 % com uso da dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao controle. Para o teor de P, a interação das doses 0 kg ha<sup>-1</sup> de N e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K proporcionou a maior concentração de P nas raízes, e a interação das controle de ambos proporcionou a maior concentração de P nas folhas. Em relação ao K, a interação das doses 320 kg ha<sup>-1</sup> de N e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K, e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N com 200 kg ha<sup>-1</sup> de K proporcionou a maior concentração de K nas raízes e nas folhas, respectivamente.

A altura das plantas foi influenciada pelas doses de N, com a dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> resultando em aumento de 23,47 % na altura das plantas em relação ao controle. Para o diâmetro do colmo, a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K proporcionou aumento de 11,11 % e 15,56 % em relação às doses controles. A matéria seca da raiz apresentou seu maior valor

decorrente da interação das doses de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K. A matéria seca do colmo expressou incremento com a aplicação das doses de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K, com aumento de 28,17 % e 50,22 % em relação às menores doses, e a matéria seca das folhas expressou seu maior valor com a aplicação das doses 160 kg ha<sup>-1</sup> de N e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K, com aumentos em relação às doses controle de 35,63 % e 29,07 %, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANCA, G.E. de; RODRIGUES FILHO, A.; ARAUJO, J.M. de; VIEIRA, J.R.; LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p.1643-1651, 2003.
- BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993. 301 p.
- CABRAL FILHO, S. L. S. **Efeito do teor de tanino do sorgo sobre a fermentação ruminal e parâmetros nutricionais de ovinos**. 77 f. Tese em energia nuclear na agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, I. NOVO, M. C. S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 123-130, 1996.
- COELHO, Marcos Antônio. Cultivo de sorgo: Embrapa – Sistemas de produção, 2015. Disponível em: <<http://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2017.
- COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o Doutor do seu sorgo**. Informações Agronômicas, Piracicaba, v. 100, p. 1-24, 2002.
- CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 155 p. 2007.
- Cultivo de sorgo: Embrapa – Sistemas de produção, 2015. Disponível em: <<http://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2017.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. trad. Londrina: Planta, 2006. 392 p.
- FERNANDES, M. S. 2006. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 432p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistic analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

GALVÃO, J. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, V. F. A.; PINHEIRO, D. P.; MELO, N. C. Adubação potássica em híbridos de sorgo forrageiro cultivados em sistemas de manejo do solo na amazônia oriental. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 70 – 79, 2015.

INOUE, M. T.; RIBEIRO, F. A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptu ssp.* e *E. saligna*. **Revista do IPEF**, v. 40, p. 15-20, 1988.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, Guarapuava, v.1, n. 1, p. 11-19, 2005.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p.527-538, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532 p.

LARA, F. M. Influência de genótipos de sorgo, *Sorghum vulgais* Pers., local e época de plantio, inimigos naturais e inseticidas sobre *Contarinia sorghicola* (Coq. 1898). 1974. 111 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal "Prof Ruete", Jaboticabal.

LAVRES JR., J.; MONTEIRO, F.A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-Aruana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 829-837, 2006.

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. **Anais...** Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.51-65.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Circular técnico, 3. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p.

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 2006.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Ed.) **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.

MEDEIROS, R. B.; SAIBRO, J. C.; BARRETO, I. L. Efeito do nitrogênio e da população de plantas no rendimento e qualidade do sorgo sordan (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum*

sudanense (Piper) Stapf). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 75-87, 1979.

MELLO, A. H.; MELLO PEREIRA, F. D.; NASCIMENTO, S. F. Caracterização Química do Solo em Áreas de Floresta, Plantações de Arroz, Milho e Mandioca no Projeto de Assentamento Nova Vida – Marabá-PA. **Revista Brasileira de Agro ecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

MILTHORPE, F. L.; MOORBY, J. **A introduction to crop physiology**. Cambridge University Press, Cambridge, 1979.

NECHET, D. Variabilidade diurna de precipitação em Belém-PA: aplicação em planejamento a médio e longo prazo. **Boletim Climatológico**. Presidente Prudente, v. 2, n. 3, p.223-227, jul. 1997.

NETO, R. C. A.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, 2010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. R. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 161- 169, 2005.

PARRELA, R. A. C.; MENEGUCCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELA, N. N. L. D.; RODRIGUEWS, J. A. S.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando a produção de etanol. In: XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2010. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

PEREIRA, R. G.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, G. F.; PAIVA, M. R. F. T.; JÚNIOR, J. N. Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 285-299, 2014.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. Cana-de-açúcar. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico – Fundação IAC, 1997. p. 237-239.

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. 1. ed. Sete Lagoas (MG): Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 211-216. 1988.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S. & CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milheto e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6. p. 1033-1040. 2006.

- SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Deficiências de macro nutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.
- SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, n. 6, p. 219-247, 2007.
- SILVA, B.G., COELHO, A.M., SILVA, A. F. et al. Sistemas de produção de milho e sorgo para silagem. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 47, n. 4, p. 3-5, 1978.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação com nitrogênio**. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília, DF. Embrapa, 2004, p. 129- 145.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.
- TEDESCO, J. M.; CIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. **Boletim técnico**, n. 5, 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995.
- TISDALE, S. M. et al. **Soil fertility and fertilizers**. 8. ed. New York, Macmillan Publishing Company, 2007. 503p.
- UCHINO, H.; WATANABE, T.; RAMU, K.; SAHRAWAT, K. L.; MARIMUTHU, S.; WANI, S. P.; ITO, O. Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the semi-arid tropical Zone of India. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Japan, v. 47, p. 65 – 73, 2013.
- VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.
- VIÉGAS, L. J. M.; BOTELHO, S. M. Sorgo granífero e forrageiro. In: **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. Ed. Técnico: VELOSO, C. A. C. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 262 p. 2007.