



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
ÁREA DE SOLOS

ANA KAROLINA MENDONÇA DE MELO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO:  
USO DE Ni e Mo COMO FORMA DE AUMENTAR A ASSIMILAÇÃO DE  
NITROGÊNIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Recife, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
ÁREA DE SOLOS

ANA KAROLINA MENDONÇA DE MELO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO:  
USO DE Ni e Mo COMO FORMA DE AUMENTAR A ASSIMILAÇÃO DE  
NITROGÊNIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Relatório apresentado à coordenação do curso de Agronomia como requisito avaliativo para conclusão do curso de graduação.

Recife, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
ÁREA DE SOLOS

ANA KAROLINA MENDONÇA DE MELO

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO:  
USO DE Ni e Mo COMO FORMA DE AUMENTAR A ASSIMILAÇÃO DE  
NITROGÊNIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Curso:** Agronomia

**Aluna:** Ana Karolina Mendonça de Melo

**Matrícula:** 133.606.974-05

**Local do estágio:** Universidade Federal Rural De Pernambuco, Recife-PE.

**Setor:** Departamento de Agronomia

**Área de conhecimento:** Nutrição mineral de plantas

**Orientador:** Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

**Supervisor:** Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

**Período de estágio:** 01/01/2024 a 08/03/2024

**Carga horária:** 210 horas

Recife, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
ÁREA DE SOLOS

**USO DE Ni e Mo COMO FORMA DE AUMENTAR A ASSIMILAÇÃO DE  
NITROGÊNIO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO:**

NOTA: \_\_\_\_\_

Discente

---

Ana Karolina Mendonça de Melo  
Graduanda em Agronomia – UFRPE

Orientador

---

Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira  
Professor Adjunto – UFRPE

Supervisor

---

Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira  
Professor Adjunto – UFRPE

Recife, 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por todos por todas as bênçãos, desafios e momentos que tive até agora. Fizeram de mim quem sou. Saber que tenho o Senhor comigo em todos os momentos me traz paz.

Aos meus pais, Adriana e Fernando. Obrigado por acreditarem em mim. Às minhas irmãs Fernanda e Yasmin, vocês me dão forças para eu ser uma pessoa melhor.

Aos meus familiares. Obrigado por me incentivarem. Especialmente Letícia, Gabriella, Rodrigo, Domingos e a todos os outros. Obrigado por a 5 anos atrás me incentivarem a ir atrás de meus objetivos, e por todos os momentos de descontração em família.

Meus amigos que fiz durante o período de graduação, Júlia, Carlos, Victória vocês em diferentes momentos da minha graduação me fizeram ter ânimo e forças para continuar, sempre com leveza. Em especial a Victória. Obrigada por ser ombro amigo, conselheira em momentos complicados e parceria em momentos felizes.

Ao todos os integrantes GNAF – Grupo de Nutrição, Adubação e Fertilidade do solo- em especial a Pedro, Matheus, Joel, Crissogno. Obrigada pelas risadas, ajudas, avaliações biométricas e momentos de descontração. Me fizeram ter certeza, na prática, do que eu sempre quis.

Ao meu orientador Emídio Oliveira. Pelos conselhos, ensinamentos, orientação, incentivo, convívio, amizade e por confiar em mim.

À UFRPE, por ter me feito me sentir em casa quando em grande parte do tempo foi quase um lar. Me sentir segura, acolhida e parte de uma comunidade.

Às companhias e noites no Conterrâneo Bar, as quais contaram tantas histórias.

*Gratidão  
Pela força que não me deixou desistir  
Por ter sido escolhida para essa missão  
Obrigada meu Deus por você existir  
Sempre me deu a mão  
Gratidão.*

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>CANA-DE-AÇÚCAR</b> .....	<b>10</b>
<b>NITROGÊNIO</b> .....	<b>10</b>
<b>MOLIBDÊNIO</b> .....	<b>12</b>
<b>REDUTASE DE NITRATO</b> .....	<b>13</b>
<b>NÍQUEL</b> .....	<b>14</b>
<b>UREASE</b> .....	<b>15</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
<b>BIOMETRIA</b> .....	<b>23</b>
<b>BIOMASSA</b> .....	<b>24</b>
<b>N TOTAL</b> .....	<b>28</b>
<b>NITRATO REDUTASE</b> .....	<b>29</b>
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>31</b>



## **APRESENTAÇÃO**

O presente trabalho resulta da vivência de estágio supervisionado obrigatório, realizado no período de 01 de janeiro a 08 de Março de 2024, na Universidade Federal Rural de Pernambuco-SEDE. Nesse período foram realizadas aplicação foliar, avaliações biométricas e avaliações bioquímicas.

## **CANA-DE-AÇÚCAR**

O Brasil é o maior exportador de cana-de-açúcar do mundo, seguido de Índia e China. O país possui atualmente cerca de 10 milhões de hectares plantados, com uma produção na safra 2021/2022 de aproximadamente 725 milhões de toneladas (IBGE., 2022). Em 2021 o Brasil foi responsável por 39% da produção mundial de cana-de-açúcar (FAO, 2021).

A manutenção da competitividade do Brasil no cenário internacional dentro setor sucroenergético depende da manutenção e\ou aumento da produtividade da cana-de-açúcar. Uma das limitações na produção de cana-de-açúcar está na baixa fertilidade natural dos solos.

Em média, a cana exporta  $179 \text{ kg/ha}^{-1}$  de nitrogênio,  $25 \text{ kg/ha}^{-1}$  de fósforo,  $325 \text{ kg/ha}^{-1}$  de potássio,  $226 \text{ kg/ha}^{-1}$  de cálcio e  $87 \text{ kg/ha}^{-1}$  de magnésio (Oliveira et al., 2010), o nitrogênio é o terceiro em termos quantidade por necessidade.

Devido à grande produção de biomassa, a cana-de-açúcar absorve grandes quantidades de nutrientes do solo, sendo o nitrogênio um dos principais e conseqüentemente removido em maior quantidade do solo (Oliveira et al. 2018).

Na cana-de-açúcar o nitrogênio (N) é o nutriente mais correlacionado com a produtividade, além de ser um dos mais requeridos pela cultura, sendo fornecido predominantemente por meio de fertilizantes nitrogenados, que implicam em alto custo de produção

## **NUTRIÇÃO NITROGENADA NA CANA-DE-AÇÚCAR**

O nitrogênio, sob a forma de  $\text{N}_2$ , compõe 78,3% dos gases presentes na atmosfera. No entanto, nesta configuração, não está prontamente disponível para as plantas, que primariamente absorvem nitrato e amônio

O nitrogênio está presente desempenhando um papel crucial na composição de moléculas das biomoléculas mais importantes, como: ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN & LEA, 1976; HARPER, 1994).

No solo, a maior parte (95%) do nitrogênio total está na forma de nitrogênio orgânico, integrante da matéria orgânica. Embora exista uma grande variedade de compostos orgânicos que contenham nitrogênio na matéria orgânica, essas formas não são prontamente utilizáveis pelas plantas e requerem processos de transformação microbiana para serem convertidas em amônio e nitrato. Esse processo de conversão é conhecido como mineralização. (Perina 2023).

A cana-de-açúcar absorve nitrogênio do solo preferencialmente nas formas amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e nítrica ( $\text{N-NO}_3^-$ ). Em solos bem aerados, a forma nítrica é predominante. Quando o nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) é absorvido, precisa ser reduzido a amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) nos plastídeos da raiz ou nos cloroplastos foliares para ser assimilado e utilizado na formação de aminoácidos e proteínas. A enzima redutase do nitrato é fundamental nesse processo, pois é responsável pela conversão de  $\text{N-NO}_3^-$  em  $\text{N-NO}_2^-$  (Santos 2014).

Em solos com baixa reserva natural de N, o uso do N-fertilizante se torna necessário para maximizar a produção da cultura (Franco et al., 2011; Mariano et al., 2017; Vitti et al., 2007). Porém, o aproveitamento do N-fertilizante pela cana-de-açúcar é baixo nos diferentes ciclos da cultura não ultrapassando 50% de recuperação (Franco et al., 2008).

Uma das razões do baixo aproveitamento de N-fertilizante pela cana-de-açúcar está na perda de N do ambiente. Essas perdas ocorrem por diversos motivos pois sofrem uma série de transformações químicas e microbianas, que acabam ocasionando perdas para os vegetais.

A adubação foliar atua como um complemento a adubação via solo, sendo uma via onde ocorre uma maior eficiência do N-fertilizante. Logo, seu uso é utilizado de forma estratégica para corrigir deficiências nutricionais que venham a ocorrer em determinados estádios fenológicos da cultura (Silva 2023). Seu fornecimento via foliar aumenta o teor do nutriente da planta, que será convertido em biomassa e resultando em um maior rendimento da cultura. (Bennet et al., 2011; Cerqueira et al., 2019; González et al., 2018).

A ureia se destaca na adubação foliar como fonte de nitrogênio devido à sua alta solubilidade, concentração de N e rápida absorção pelas folhas. (Trivelin et al., 1988). Após ser absorvida, a ureia passa por metabolização pela enzima urease no citosol, resultando na formação de cinco moléculas de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Após essa reação, o nitrogênio proveniente da ureia é assimilado através das

enzimas glutamina sintetase e glutamato sintetase, integrando a estrutura dos aminoácidos.

## **MOLIBDÊNIO**

O molibdênio melhora a eficiência da nutrição nitrogenada e a produção de sacarose. É essencial para o metabolismo do nitrogênio em culturas que dependem do nitrato do solo ou do nitrogênio atmosférico derivado da fixação biológica por bactérias diazotróficas associadas às plantas. A cana-de-açúcar pode obter nitrogênio dessas duas fontes, portanto, argumenta-se que o molibdênio desempenha um papel fundamental na produção dessa cultura. Seu fornecimento adequado é indispensável para atender à alta demanda de nitrogênio das plantas, principalmente otimizando a contribuição da fixação biológica de nitrogênio na nutrição nitrogenada. (Santos 2020).

Esse micronutriente desempenha um papel crucial como nutriente essencial para a atividade da nitrato redutase (NRA), atuando como regulador enzimático. Em outras palavras, dependendo da sua concentração nos tecidos vegetais, ele pode modular tanto o aumento quanto a redução da atividade enzimática.

Para as plantas, o nitrogênio está disponível na forma de amônio e nitrato. A passagem de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) através da membrana plasmática das células da epiderme e do córtex da raiz ocorre através de transportadores específicos para essas formas de nitrogênio (LARSSON & INGEMARSSON, 1989). Após sua entrada na célula o nitrato pode ser reduzido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) através da enzima redutase de nitrato.

Em situações de escassez, a presença limitada de molibdênio pode diminuir a absorção de nitrogênio, o que, por sua vez, reduz a atividade da enzima RN, resultando em uma queda na produção agrícola. A quantidade de molibdênio presente na maioria dos solos é geralmente considerada baixa, sendo sua disponibilidade afetada por diversas propriedades químicas e mineralógicas. (Silva 2023)

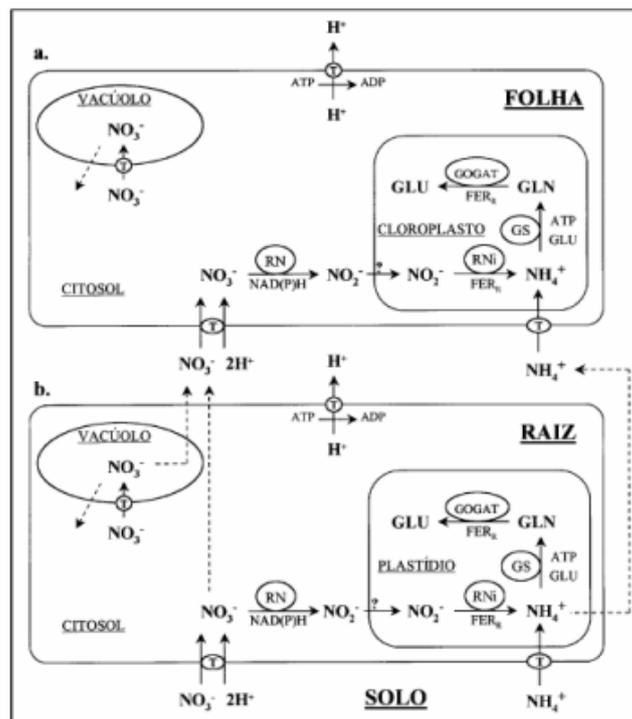
Resultados de Santos et al. 2019 em cana-de-açúcar mostraram o aumento da ARN aumentando a produtividade agrícola utilizando o molibdênio. Estudos realizados por Santos et al 2021 mostram que o uso do molibdênio estimula a atividade da enzima redutase do nitrato aumentando a produtividade, sugerindo que a aplicação do micronutriente aumenta a absorção do nitrato, aumentando, conseqüentemente maior

produtividade do açúcar. Doses combinadas de 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N) e 200 g ha<sup>-1</sup> de Mo obtiveram melhor resultado.

### REDUTASE DE NITRATO

Normalmente, o N é absorvido do solo nas formas amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nítrica (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sendo esta última considerada tradicionalmente como a preferencial (ROBINSON et al., 2011). Para a assimilação dessa forma de N, a enzima redutase do nitrato é essencial.

A enzima redutase do nitrato, que é considerada uma flavoproteína formada por duas subunidades idênticas, sendo cada uma composta por flavina adenina dinucleotídeo, Feheme e molibdopterina, pode ser encontrada no citossol das células corticais e nas células do mesófilo da parte aérea. Assim, quanto maior a absorção e assimilação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pela planta, maior será a atividade da redutase do nitrato (ARN). Portanto se a redutase do nitrato se apresentar com baixo fluxo catalítico ou atividade, a assimilação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> será reduzida e conseqüentemente, haverá redução da produtividade. (Bredemeier et al., 2000)



**Figura 1.** Representação esquemática da rota de assimilação do nitrogênio nas raízes e folhas das plantas (Bredemeier et al., 2000).

Li-Ping et al. (2007), realizaram estudos com quatro doses de molibdênio na solução nutritiva e seus efeitos na ARN na cana-de-açúcar sob cultivo hidropônico. Os autores observaram que a ARN na folha +1 foi elevada pelo aumento da concentração de Mo, no entanto, os incrementos não foram proporcionais e nem constantes.

De acordo com resultados de Santos 2014 a aplicação de Mo elevou o teor de Mo na folha +1 e raízes da cana-de-açúcar e potencializou a ARN, onde a máxima da ARN ocorreu cerca de 100 dias após a aplicação.

## **NÍQUEL**

O Ni é importante catalisador de muitas enzimas fundamentais em rotas bioquímicas em vegetais, afetando a ciclagem de C e N e também dos metabólitos secundário (Krajewska, 2009; Reis et al. 2011), além de participar do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Rodak, B et al., 2013).

O níquel desempenha um papel nos processos fisiológicos, como germinação de sementes, fotossíntese e crescimento vegetativo. Além disso, ele tem um papel na defesa vegetal contra estresses bióticos e abióticos. Em concentrações elevadas, o níquel pode interferir na dinâmica de outros nutrientes, interromper funções da membrana celular e contribuir para a geração de espécies reativas de oxigênio (EROS), o que pode inibir o crescimento da planta.

A deficiência de Ni afeta o crescimento, metabolismo, envelhecimento e absorção de Fe pelas plantas. O Ni tem papel na resistência das plantas a doenças.

A suplementação com níquel pode aumentar o teor de N foliar em plantas adubadas com ureia (Gerendás; Sattelmacher., 1997). Nessa condição, a disponibilidade do níquel para a atividade da urease é fundamental para o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas (Khoshgoftarmanesh; Hosseini; Afyuni, 2011). O níquel atua no metabolismo da ureia endógena e exógena, impedindo a acumulação de teores tóxicos de ureia no tecido vegetal, dando início à assimilação do N-ureia na planta (Shahzad et al., 2018).

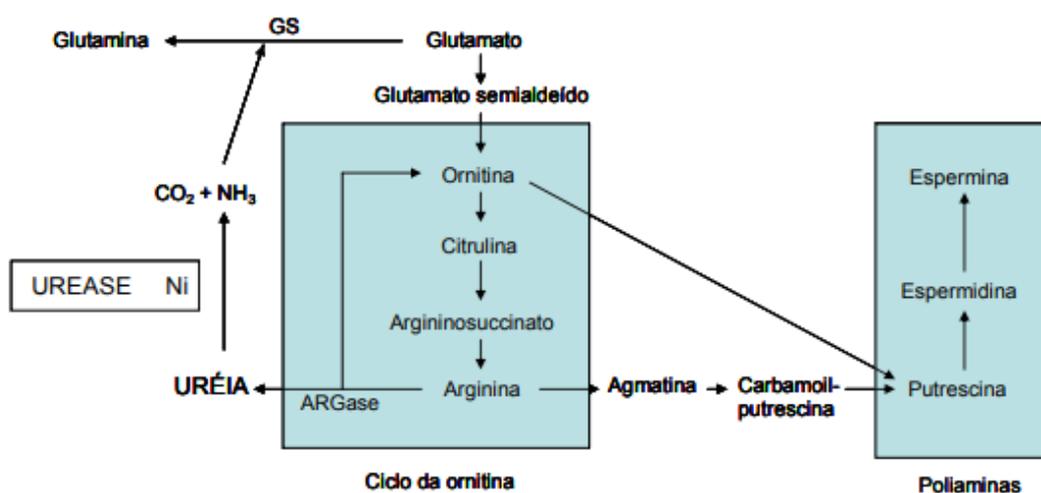
A partir da reação de hidrólise, o  $\text{NH}_4^+$  produzido serve como substrato para a glutamina sintetase (GS), para formação de aminoácidos, a unidade básica de moléculas

com funções metabólicas e estruturais nas plantas (Freitas et al., 2019; Barcelos et al., 2018).

A interação entre níquel (Ni) e molibdênio (Mo) pode melhorar a nutrição da planta com nitrogênio, aproveitando diversas fontes de N, no entanto, ainda há pouco entendimento sobre como esses micronutrientes interagem na presença de diferentes fontes de N e como afetam a atividade da urease e redutase do nitrato. (Moraes et al., 2009).

## UREASE

A urease é uma enzima responsável pela catálise da reação de hidrólise de ureia, como resultado temos a amônia e o ácido carbônico.



**Figura 2.** Produção e conversão da ureia em plantas

Segundo Trivelin (1988) a atividade da urease celular varia entre diferentes culturas, o que se torna relevante quando se considera a fertilização nitrogenada com uréia aplicada nas folhas. Porém, existem fatores que podem dificultar a absorção do N-uréia pela planta, podendo ocorrer a toxidez de amônia em casos onde a atividade da enzima é alta (HOGAN et al., 1983).

De acordo com Witner & Teubner (1959), existem também a problemática da evaporação da fase aquosa das soluções contendo nutrientes, que ocorre dentro de minutos após a aplicação, dificultando a absorção subsequente dos resíduos desidratados.

## **OBJETIVO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da cana-de-açúcar para aplicações de fertilizantes contendo nitrogênio, níquel e molibdênio foliar, visando aumentar as enzimas urease e redutase de nitrato, aumentando a assimilação de nitrogênio pela planta.

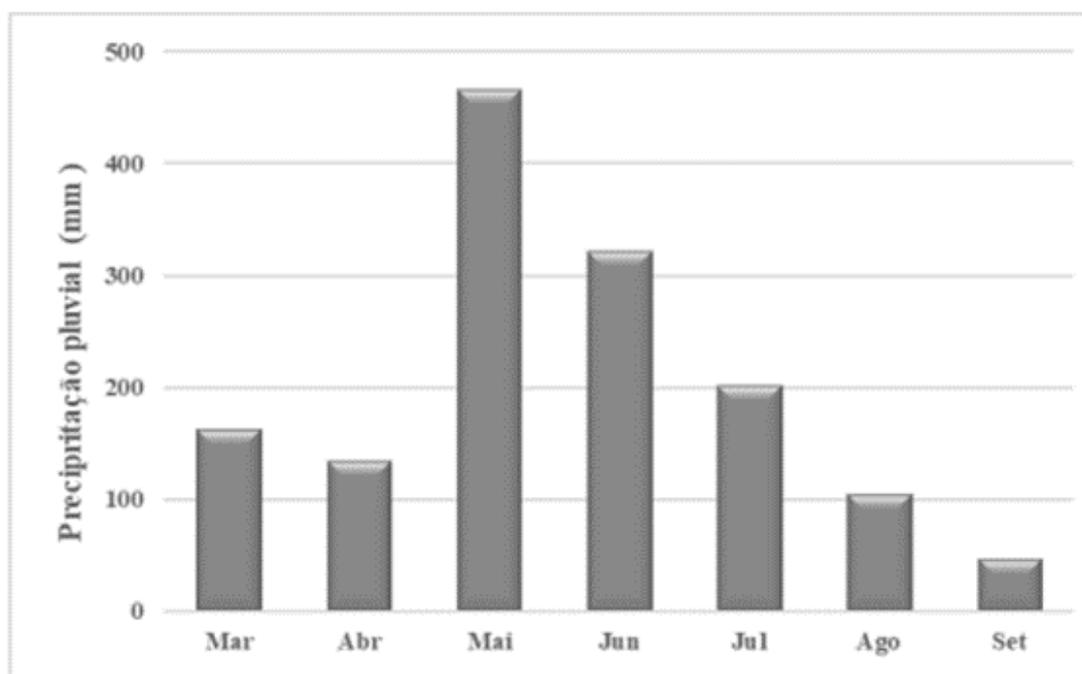
Além disso, foram realizadas duas doses de nitrogênio na solução nutritiva do solo (60kg/ha e 40kg/ha) com o objetivo de comprovar se a redução de dose do nitrogênio no solo possui respostas significativas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada em ambiente controlado com início em março de 2022 e com previsão de conclusão em setembro de 2022. Sendo a variedade utilizada foi RB867517 devido a seu grande uso na região Nordeste (RIDESA., 2021). Essa variedade também possui uma exigência elevada por nitrogênio (Oliveira et al., 2010).

A área experimental está localizada no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Recife (6° 49 '58,8" S e 34° 57' 24"W). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é o Am; caracterizado por apresentar temperatura e precipitação média de 25,8° C e 1.839,4 mm (IMET, 2022) (Figura 1).

As parcelas foram montadas em vasos. Os vasos possuem 0,050 m<sup>3</sup> com dreno instalado ao fundo. Foram preenchidos com uma camada de 0,20m de cascalho (brita nº19) e 0,045 m<sup>3</sup> (54 kg) de substrato arenoso. O plantio foi realizado com 4 colmoses, com 0,05m de comprimento, possuindo uma gema viável. Foram distribuídos em 2 sulcos de 0,15m de profundidade e cobertos com o substrato retirado para a abertura do sulco.



**Gráfico 1.** Precipitação pluvial do período de realização do experimento.

Os tratamentos foram distribuídos em 4 blocos casualizados possuindo 10 tratamentos (Figura 1), contendo 3 plantas por vaso e cada vaso com 1 metro de espaçamento, totalizando 40 parcelas.

Após a emergência das plantas, os nutrientes foram fornecidos (exceto Ni e Mo) via solução nutritiva proposta por Arnon e Hoagland (1950), duas vezes por semana. A primeira aplicação ocorreu 15 dias após a emergência. As soluções nutritivas forneceram 210 mg L<sup>-1</sup> de N, 31 mg L<sup>-1</sup> de P, 234,6 mg L<sup>-1</sup> de K, 200,6 mg L<sup>-1</sup> de Ca, 48,6 mg L<sup>-1</sup> de Mg, 64,2 mg L<sup>-1</sup> de S, 500 µg L<sup>-1</sup> de B, 20 µg L<sup>-1</sup> de Cu, 648 µg L<sup>-1</sup> de Cl, 5022 µg L<sup>-1</sup> de Fe, 502 µg L<sup>-1</sup> de Mn, 50 µg L<sup>-1</sup> de Zn. A fonte de N utilizadas foi nitrato de cálcio (67% - 5,0 mL L<sup>-1</sup> vaso<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Segundo Otto 2012 no Brasil as doses de N aplicadas no plantio variam de 40 a 80 kg ha<sup>-1</sup>. No experimento as doses de nitrogênio foram reduzidas, sendo 60 e 40 kg ha<sup>-1</sup>. Como os tratamentos possuem uma redução de dose de Nitrogênio via solo, a solução de Hoagland era aplicada em 100% do nitrogênio indicado na solução e redução de dose para 60%. Sendo os tratamentos N SOLO 60 e N SOLO 40, respectivamente.

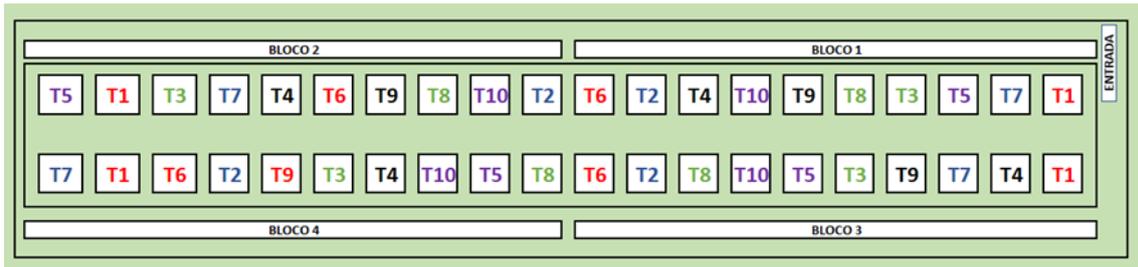
7 dias antes da aplicação foliar o nitrogênio foi cortado da solução nutritiva. As soluções de aplicação foliar foram preparadas com água deionizada, sendo as doses de: 0, 250, 500 e 750 mL ha de Ni e Mo e 5L de N para todos os tratamentos. A fonte de Ni e Mo foi o produto comercial Genezys e a fonte de nitrogênio o produto comercial N32 o qual possui nitrogênio na fonte nítrica, amídica e amoniacal.

As aplicações tiveram início as 5:30 da manhã e foram finalizadas as 07:00, 180 dias após o plantio. A temperatura e umidade do ar foram registradas termo-higrômetro digital. No início da aplicação a temperatura era de 23 °C e a umidade do ar de 70%, ao final da aplicação a temperatura era de 26°C e a umidade era de 62%.

A pulverização das soluções foi realizada com auxílio de pulverizador manual, sobre a superfície adaxial e abaxial das folhas mais jovens totalmente expandidas, folha +1, +2 e +3 (sistema de ordenamento Kuijper), aplicando 10,4 ml da solução por folha.



**Figura 3 e 4:** Distribuição da aplicação foliar e momento da aplicação.



**Figura 1.** Croqui da área experimental

As variáveis analisadas foram biometria, biomassa, altura da planta até a folha +1, teor de N total na folha e análises bioquímicas (urease e redutase de nitrato).

As folhas para teor e análises bioquímicas foram coletadas 7 dias após a aplicação do nitrogênio, níquel e molibdênio foliar de acordo com estudos feitos por Trivelin (1988).



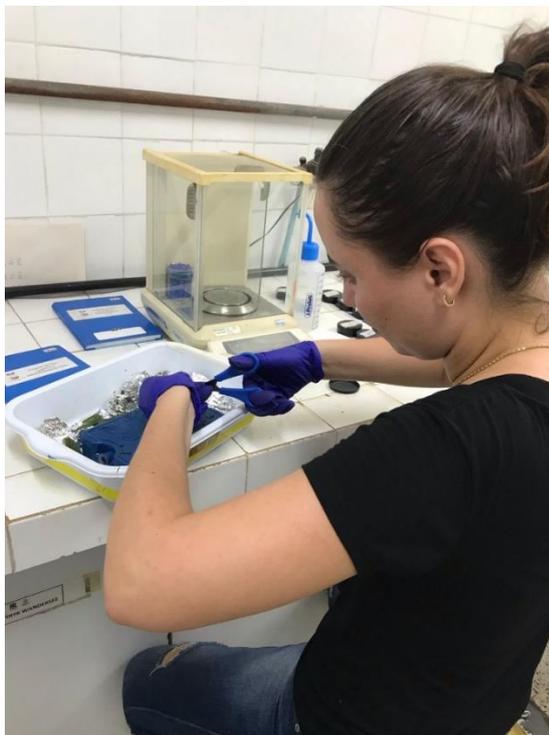
**Figura 5.** Corte de folha +1 para análises bioquímicas e nutricional.

A folha coletada foi retirada a nervura central e dividida em 3 partes. O terço médio foi dividido para análises nutricionais e análises bioquímicas. Para a análise nutricional a folha foi seca e levada a estufa 65°C até atingir peso constante. Após sua secagem foi feita a moagem em moinho de facas onde o material moído foi utilizado para avaliação

nutricional. A determinação do teor de nitrogênio (N em g kg<sup>-1</sup>) nas folhas foi realizada através do método de digestão sulfúrica, seguido de destilação utilizando um destilador Kjeldahl e titulação com uma solução diluída de ácido clorídrico, conforme descrito pela EMBRAPA (2009).

A atividade da redutase do nitrato foi analisada segundo Santos et al (2020) (Figura 6.), imediatamente após a coleta com material fresco entre 9:30 e 12:00 Durante a etapa de extração, 0,5 g de matéria fresca foi depositada em um recipiente opaco para impedir a entrada de luz. Os reagentes de extração, incluindo KNO<sub>3</sub>, tampão fosfato, Tween e 4 mL de água deionizada, foram adicionados aos recipientes. Em seguida, os recipientes foram completamente vedados e colocados em uma estufa com circulação de ar a 32°C, onde permaneceram por 90 minutos para incubação.

Após o período de incubação, o extrato foi separado do tecido vegetal e uma amostra de 0,5 mL foi retirada e transferida para um copo descartável de 50 mL. Nesse copo, foram adicionados os reagentes de determinação, incluindo sulfanilamida, dicloridrato de N-(1-naftil) etilenodiamina e água deionizada. A mistura foi homogeneizada e o tempo de reação de 20 minutos foi cronometrado. Após o término do tempo de reação, as amostras foram lidas em um espectrofotômetro a 540 nm utilizando a curva padrão.



**Figura 6.** Procedimento para análise da enzima redutase de nitrato.

A outra metade foi envolta em papel alumínio, acondicionada em nitrogênio líquido e armazenada em ultrafreezer (-80°C) para posterior análise bioquímica. A determinação da atividade da enzima urease seguiu o protocolo descrito por HOGAN et al. (1983) e McCULLOUGH (1967). As amostras, previamente conservadas no ultrafreezer, foram transferidas para um recipiente de isopor contendo gelo, a fim de manter a baixa temperatura e evitar a ativação da enzima.

Em seguida, foram retirados 0,05g de cada amostra, os quais foram colocados em tubos falcon contendo 8 ml de tampão fosfato com ureia (pH 7,4). As amostras permaneceram nesta solução por 3 horas, mantidas em banho-maria a 30°C. Uma alíquota de 0,5 ml do extrato obtido foi retirada e transferida para outro tubo falcon, ao qual foram adicionados 2,5 ml de uma solução contendo 10 g de fenol 0,1 M e 50 mg de nitroprussiato de sódio, além de 2,5 ml de outra solução composta por 5 g de NaOH 0,125 M, 53,7 g de NaHPO<sub>4</sub> 0,15M e 40 ml de NaOCl (3% Cl<sub>2</sub>). Este tubo foi então colocado novamente em banho-maria a 37°C por 35 minutos. Após atingir a temperatura ambiente, a absorbância foi medida em um espectrofotômetro a 625nm.

As avaliações biométricas e de diâmetro da planta foram realizadas no dia da aplicação foliar e 30 dias após a aplicação. O campo foi colhido e no mesmo dia realizada a pesagem da biomassa da planta.

Foram realizadas 2 avaliações biométricas: a 1ª no tempo 0 da aplicação e a 2ª 30 dias após a aplicação. Para a avaliação foi medido a altura da planta (da base do colmo até a última bainha foliar aberta).



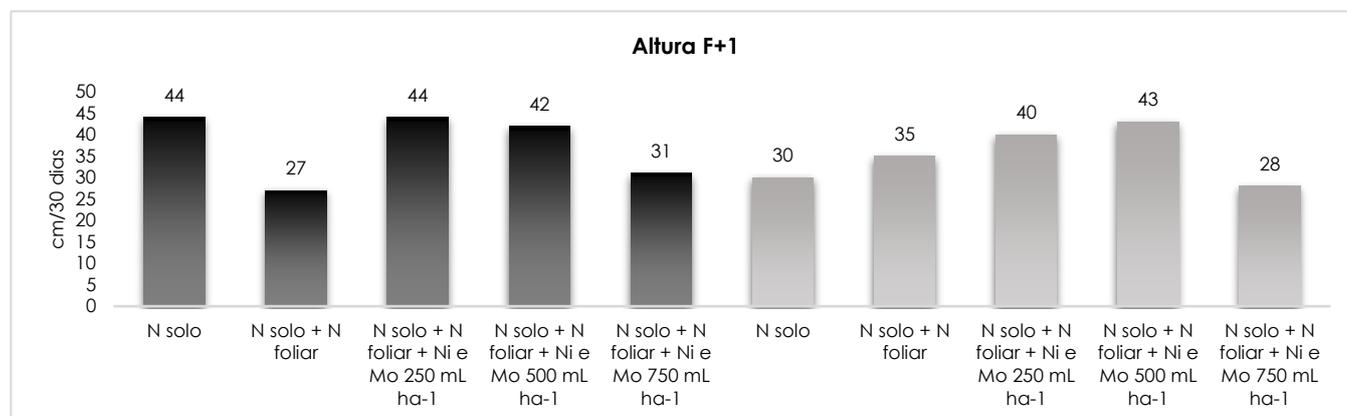
**Figura 8.** Avaliação biométrica realizada na planta.

A normalidade dos dados (Teste de Shapiro-Wilk) e a homogeneidade da variância (Teste de Levene) foram avaliadas. Os dados foram submetidos à teste F; quando o teste-F foi significativo ( $p < 0,10$ ), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade, utilizando-se do software SISVAR.

Os dados foram comparados em relação a dose de nitrogênio no solo e a interação dose nitrogênio no solo x aplicação de níquel e molibdênio foliar.

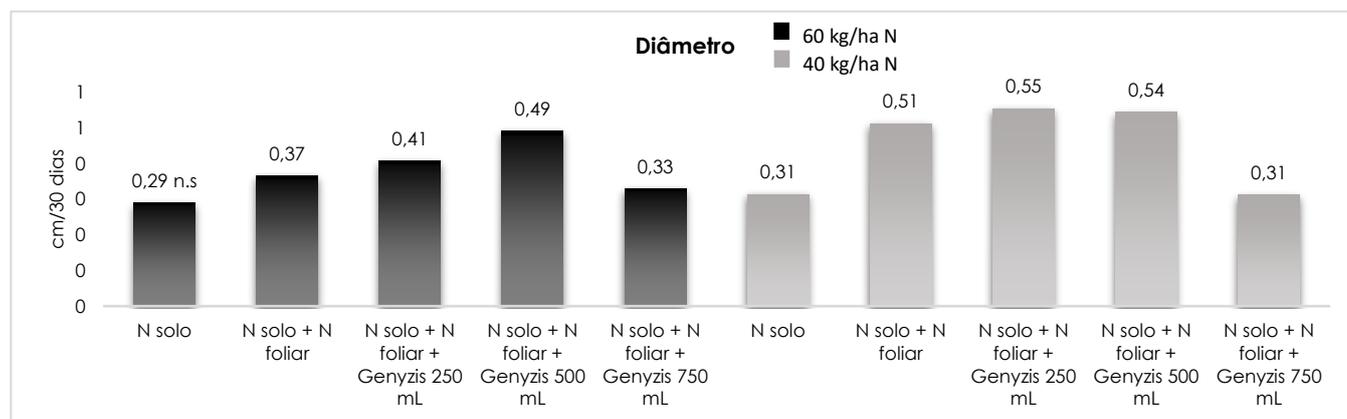
## RESULTADOS

### BIOMETRIA



**Gráfico 2.** Crescimento da planta em 30 dias da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

Não houve diferença estatística para o crescimento das plantas dentro dos 30 dias, porém, é possível analisar que as plantas aplicadas com Ni e Mo nas dosagens 1 e 2 tiveram melhores resultados em crescimento para as duas doses de adubação nitrogenada no solo.



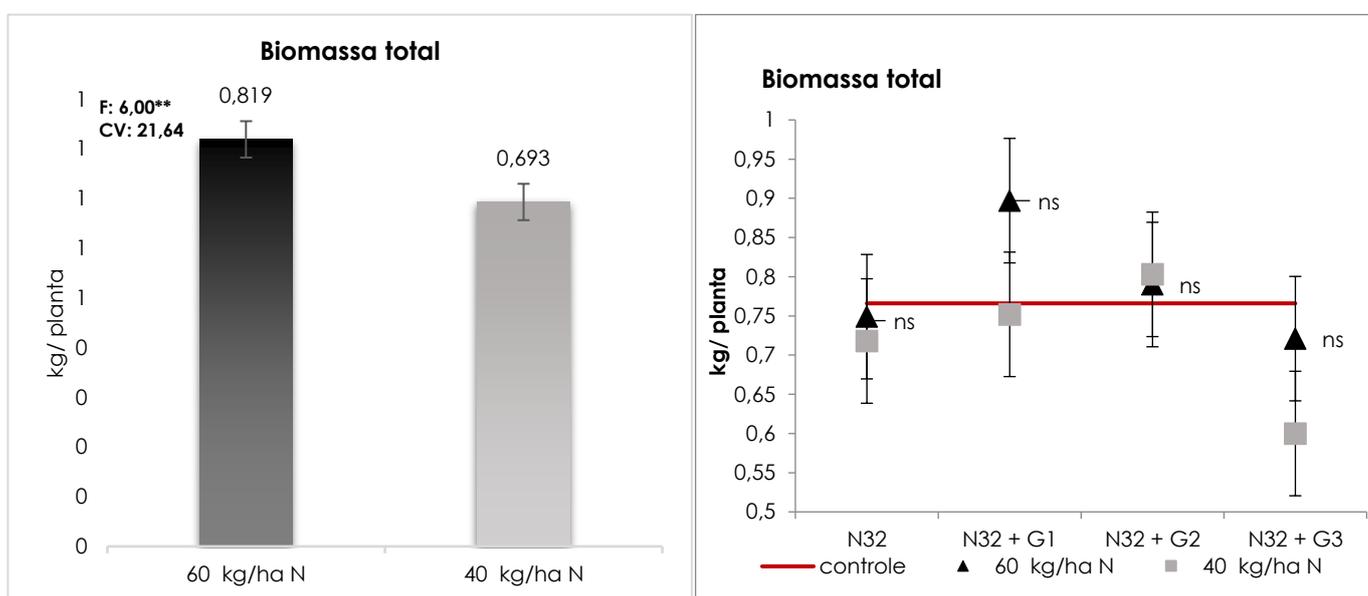
**Gráfico 3.** Diâmetro da planta da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

Em relação ao diâmetro das plantas analisadas não houve diferença estatística, mas é possível observar os melhores resultados para as doses 500 e 750 ml/ha<sup>-1</sup> para os tratamentos em que foram aplicado 40 kg de N por hectare, sendo 0,41 a média total dentre os tratamentos e 250 mL por ha<sup>-1</sup> e 500 mL por ha<sup>-1</sup> sendo 0,14cm e 0,13cm maior

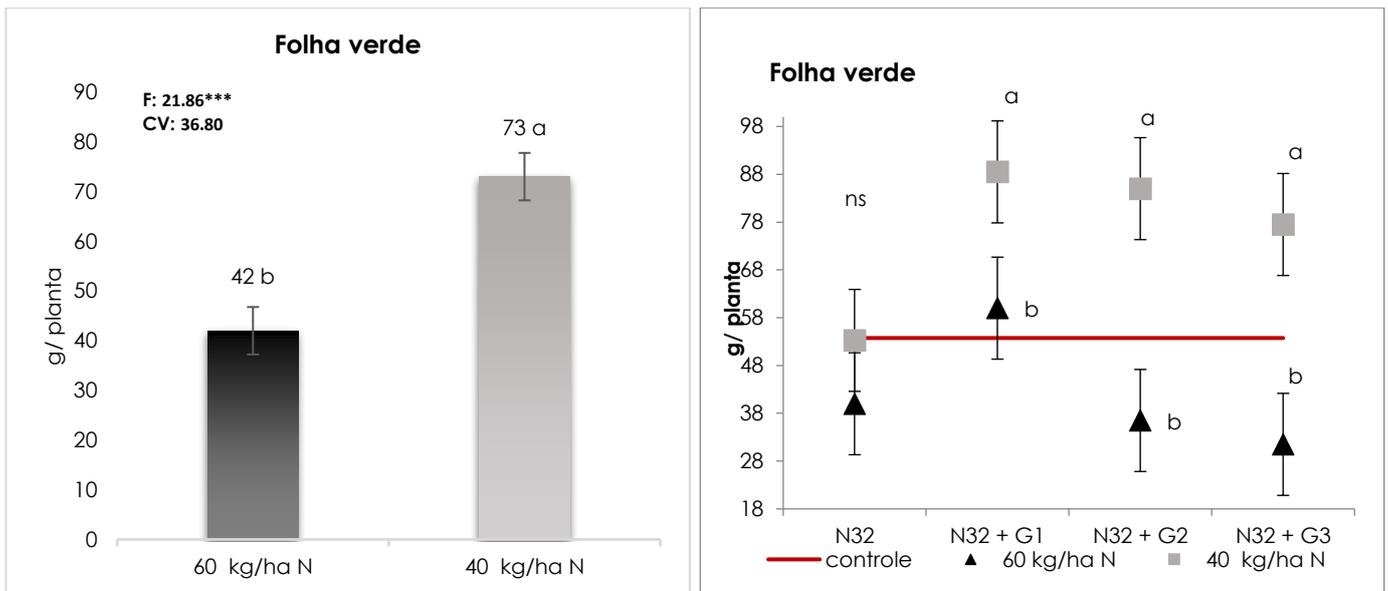
que a média, respectivamente. Após a aplicação houve uma queima das folhas, o que pode ter ocasionado uma diminuição da área fotossintética pela planta e prejudicando seu desenvolvimento em altura e espessura.

A diminuição da área foliar resulta em uma redução na taxa de crescimento da planta, especialmente durante os estágios iniciais de desenvolvimento, o que leva a uma menor interceptação da radiação solar. Gobbi 2021 mostra que houve diferença estatística entre tratamentos quando realizado um experimento com soja envolvendo níveis de área foliar disponíveis para as plantas.

## BIOMASSA



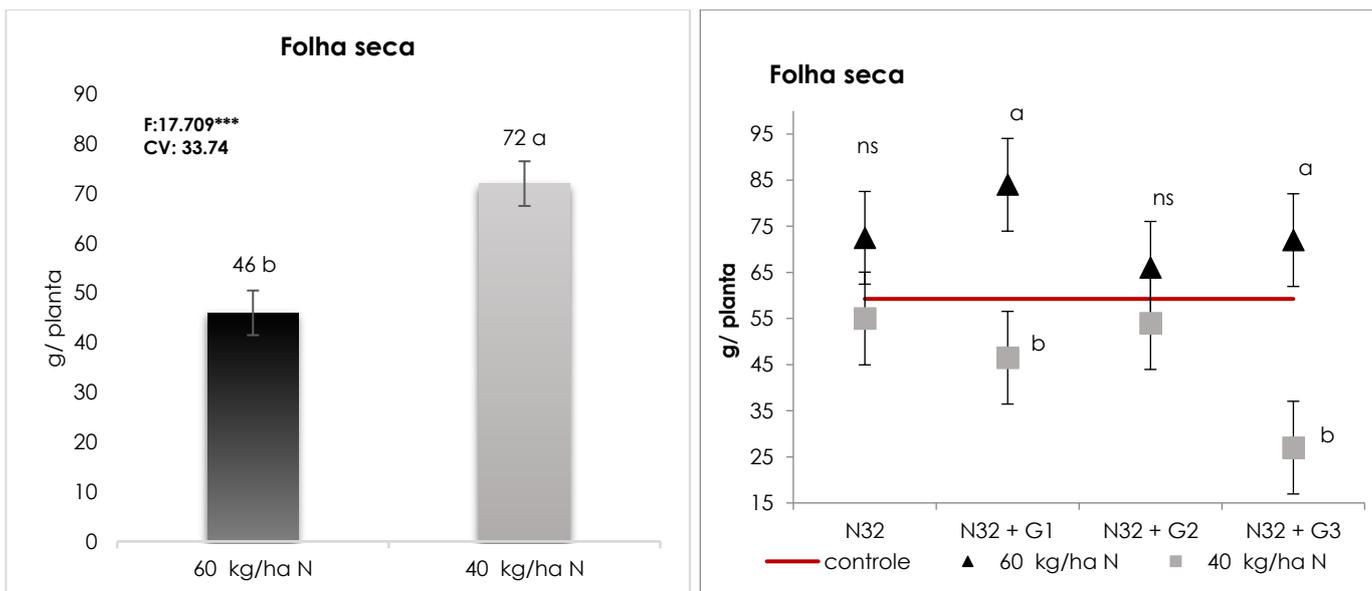
**Gráfico 5:** Biomassa total da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP.



**Gráfico 6.** Peso de folha verde da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

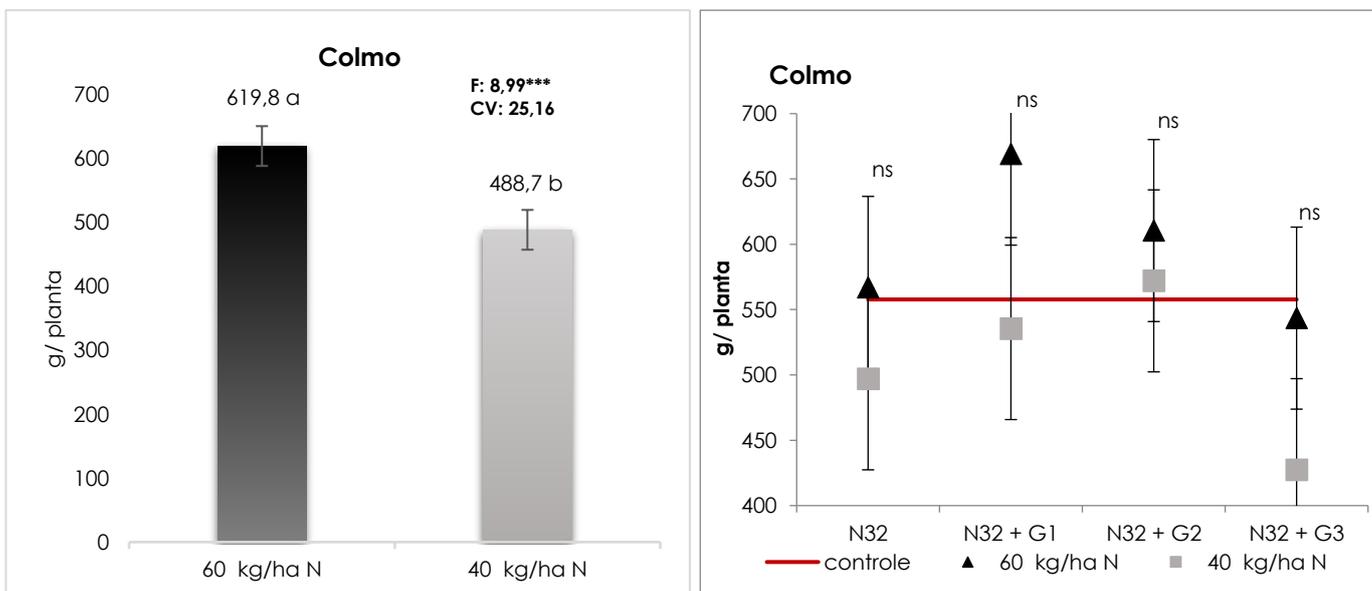
Biomassa total (Gráfico 5.) não houve diferença entre as interações de doses de nitrogênio aplicados no solo (solução nutritiva) e aplicação de Ni e Mo foliar, independente da dose Silva 2023 realizou experimento com aplicação de Ni e Ureia foliar onde também não houve diferença significativa para biomassa.

Para folha verde (Gráfico 6), as doses com 40 kg/ha + Ni e Mo foliar tiveram melhores respostas quando comparadas as 60 kg/ha. Entre os tratamentos apenas com nitrogênio foliar não houve diferença estatística.

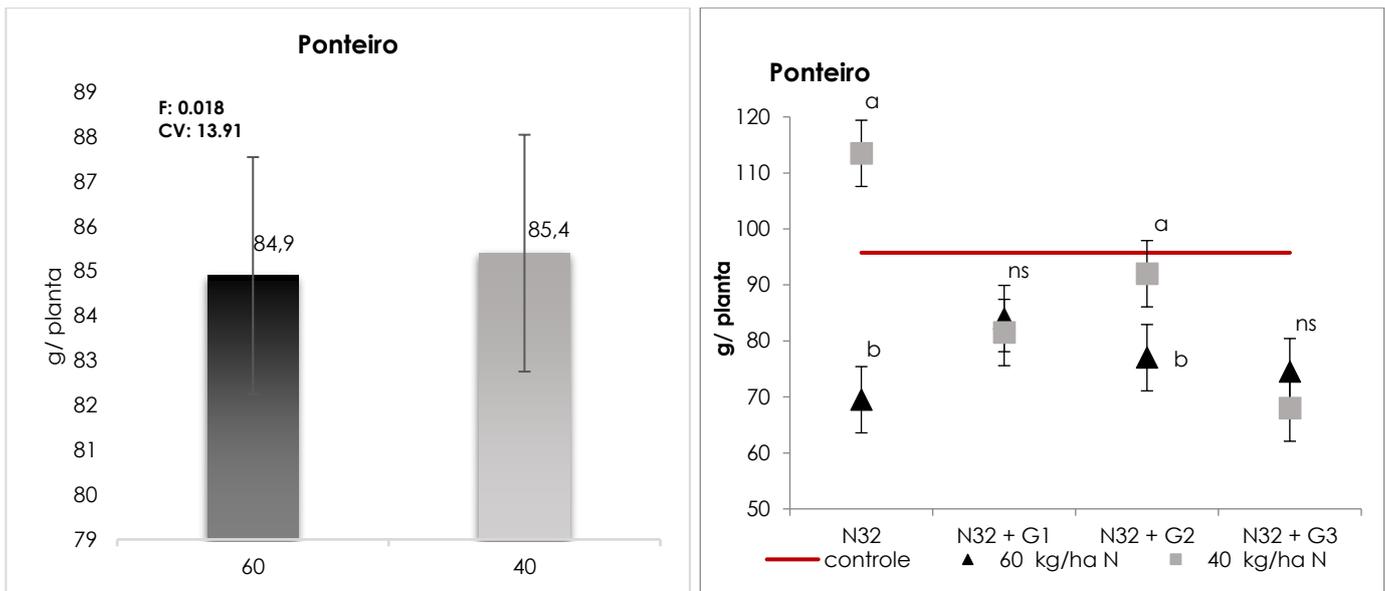


**Gráfico 7.** Peso de folha seca da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

Para folha seca, quando comparada as doses de nitrogênio no solo 72kg/há teve melhor resultado estatisticamente.



**Gráfico 8.** Peso de colmos da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP.

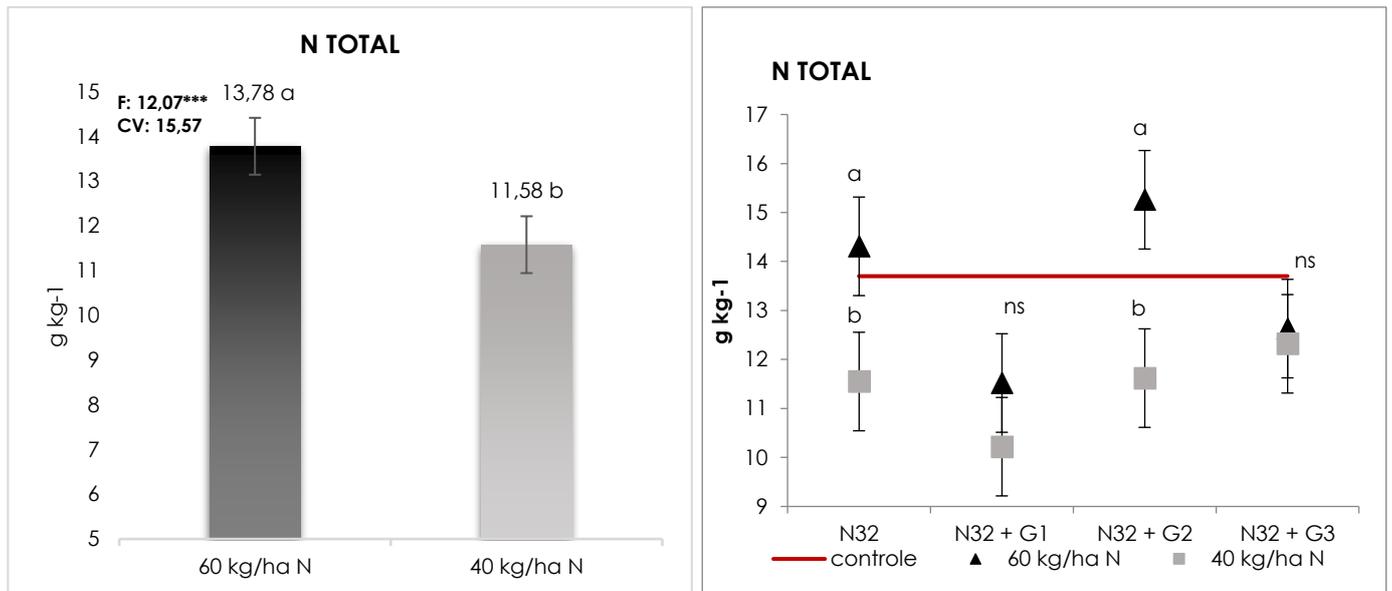


**Gráfico 9.** Peso ponteiro da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

Quando avaliado os compartimentos individualmente, em relação a redução do nitrogênio do solo, os compartimentos com folha verde e folha seca quando aplicadas doses de 40 kg/ha possuem um melhor resultado estaticamente. Para peso dos colmos, a dose de 60 kg/ha teve melhor resultado não tendo diferenças quando avaliadas as aplicações com Ni e Mo. Ponteiro e biomassa total não houveram diferenças estatísticas.

Um estudo realizado por Otto 2012 mostra que não há diferença estatística entre peso da biomassa quando ocorre a redução da adubação da dose de nitrogênio. Ainda podendo levar em consideração que a cana-de-açúcar em seu ciclo de cana planta é pouco responsiva a adubação nitrogenada, tendo melhores respostas em cultivos com cana soca (Franco et al 2017).

## N TOTAL



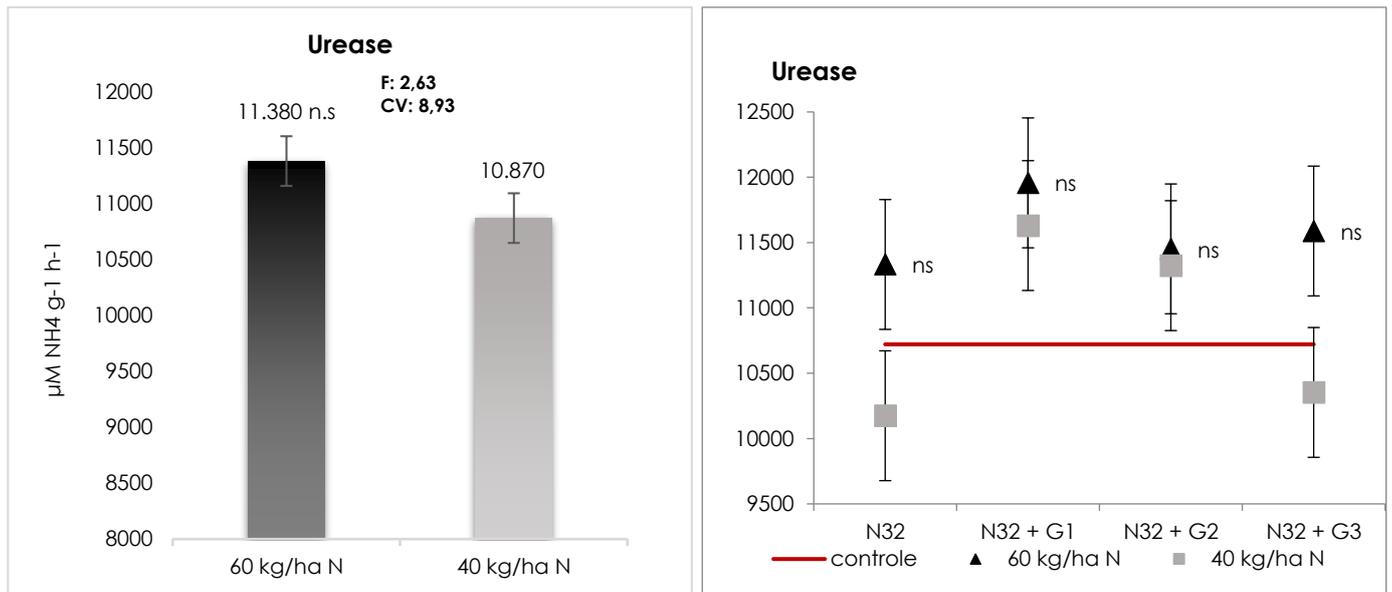
**Gráfico 10.** Teor de N da variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

O teor de nitrogênio foi maior nas plantas nos tratamentos com 60 kg/ha<sup>-1</sup> de nitrogênio no solo. Quando avaliado a relação teor no solo x adubação foliar com Ni e Mo, a dose com 60 kg/ha<sup>-1</sup> também tiveram melhores resultado na dose 2, sendo igual estatisticamente a dose com 0 de Ni e Mo foliar.

Os teores estão abaixo do valor ideal para cana-de-açúcar. O teor ideal para cana-de-açúcar quando avaliado o nitrogênio é de 17,4 kg/ha<sup>-1</sup>, ainda sendo considerada a faixa de ótima de 15,7 a 19,1 kg/ha<sup>-1</sup> (Silva et al., 2021)

Em estudo realizado por Lemos (2010) os resultados para o teor de nitrogênio na planta na variedade RB867515 com aplicação de N, Ni + Mo foliar deram 21 g/kg<sup>-1</sup>. Esse resposta pode ser resultado de uma maior quantidade de N assimilada pela planta, vindo de estímulo da FBN e nitrogênio oriunda de matéria orgânica presente no solo.

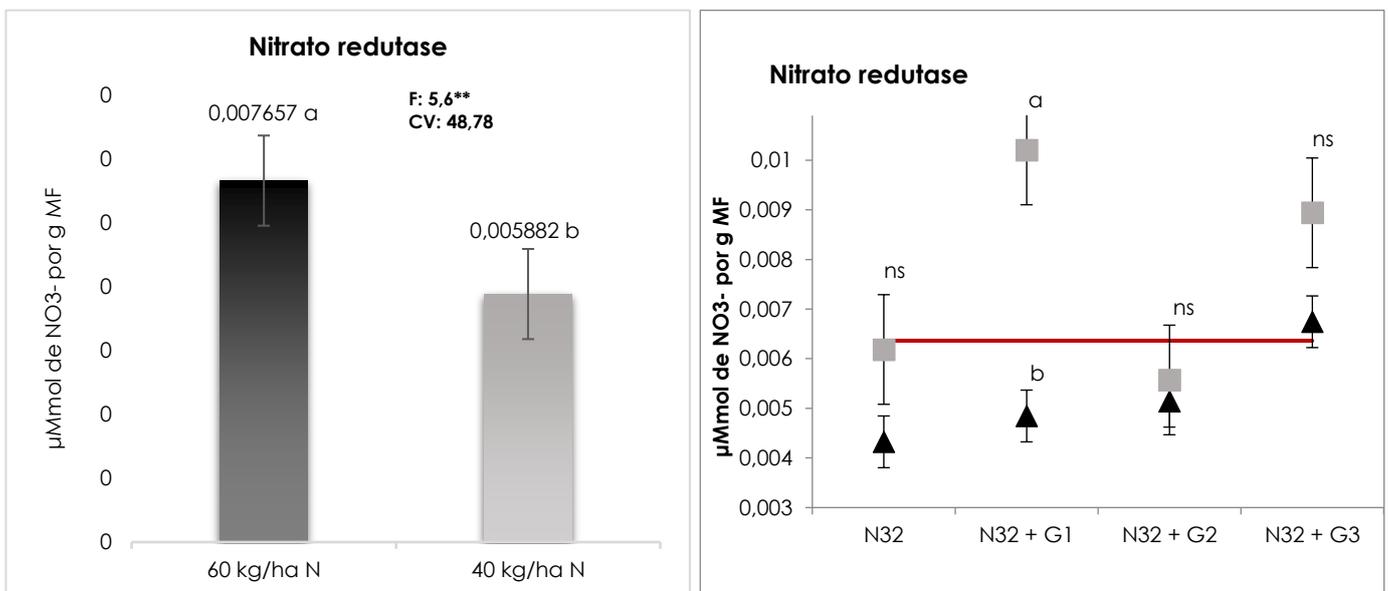
## UREASE



**Gráfico 11.** Atividade da enzima urease na variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP

A enzima não foi influenciada pela aplicação de N, Ni e Mo foliar e nem pelas dosagens de nitrogênio no solo.

## NITRATO REDUTASE



**Gráfico 12.** Atividade da enzima nitrato redutase na variedade de cana-de-açúcar RB867515 aos 210 DAP.

Quando avaliadas as doses de nitrogênio no solo, os tratamentos com 60 kg/ha<sup>-1</sup> tiveram uma média melhor em relação a produção da enzima urease.

A enzima nitrato redutase foi estimulada na dose 250 ml/ha<sup>-1</sup> quando aplicada a dose de 60 kg/ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

Como a enzima urease não houve diferença estatística entre os tratamentos, mas o teor de N na planta estava maior no tratamento com a dose de 500 ml/ha<sup>-1</sup> de níquel e molibdênio esse resultado pode ser explicado pelo estímulo do molibdênio na enzimas

Tabela equação		
PARÂMETRO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>
Folha verde		
60	Y=0,0431	0,1493
40	Y=0,0596+0,00016544x*-1,5149x2ns	0,2387
Folha seca		
60	Y=0,0728	0,0108
40	Y=0,0505	0,1683
Colmo		
60	Y=0,0429	0,1189
40	Y=0,4483	0,1387
Ponteiro		
60	Y=0,0945	0,1691
40	Y=0,0913	0,1719
Planta		
60	Y=0,8504	0,1619
40	Y=0,6498	0,15
N TOTAL		
60	Y=0,8504	0,1619
40	Y=0,6498	0,15
UREASE		
60	Y=0 11007,2414	0,1355
40	Y=0 10541,8688	0,2069
REDUTASE		
60		0,0049 0,1722
40	Y=0,0072+2,6332E-006 1,1870E-005-1,8698E*-009 1,6146E-008*	0,0099

**Tabela 1.** Equações dos dados

## CONCLUSÃO

Reduzir adubação no solo aumentou biomassa de folha verde, folha seca e diminuiu biomassa do colmo e teor de N na planta.

Aplicar Ni e Mo foliar aumentou a atividade da enzima redutase de nitrato e não afetou a atividade da urease.

Aplicar Ni e Mo aumentou os teores de N na cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

ALVES DA SILVA, Lilian Horanna. Efeito da Adubação Foliar Nitrogenada com Pulverização de Níquel e Molibdênio no Crescimento e Metabolismo do N em Cana-de-Açúcar Cultivada em Espodossolo Humilúvico Órtico Dúrico. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

BARCELOS, Q. et al. Impact of foliar nickel application on urease activity, antioxidant metabolism and control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) in soybean plants. *Plant Pathology*, v. 67, n. 7, p. 1502–1513, 21 maio 2018.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v. 30, p. 365–372, 1 abr. 2000.

BREDEMEIER, Christian; MUNDSTOCK, Claudio Mario. Regulation of nitrogen absorption and assimilation in plants. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BRITO, C. H. DE et al. Redução de área foliar em milho em região tropical no Brasil e os efeitos em caracteres agronômicos. *Interciencia*, v. 36, n. 4, p. 291–295, 2011.

CERQUEIRA, G.; SANTOS, M. C.; MARCHIORI, P. E. R.; SILVEIRA, N. M.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Leaf nitrogen supply improves sugarcane photosynthesis under low temperature. *Photosynthetica*, Praga, v. 57, n. 1, p. 18-26, 2019.

DSOUZA, D. M.; KSHIRSAGAR, D. R.; KAMMAR, S. V.; PATIL, B. N. A Study on Nutritional Management of Sugarcane for Higher Cane Yield. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, Bengaluru, v. 24, n. 4, p. 563–564, out.-dez. 2011.

FRANCO, H. C. J. et al. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. *Bragantia*, v. 66, p. 669–674, 2007.

FRANCO, H. C. J. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. spe, p. 2763–2770, dez. 2008.

FREITAS, D. S.; RODAK, B. W.; CARNEIRO, M. A. C.; GUILHERME, L. R. G. How does Ni 40 fertilization affect a responsive soybean genotype? A dose study. *Plant and Soil*, v. 44, n. 1, p. 567- 41 586, 2019.

Gobbi, Ricardo Carlos; Casimiro, Evandro Luiz Nogarolli. "Efeitos de níveis de desfolha em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja." ISSN 2175-2214, Volume 12, nº 3, p. 249-258, julho a setembro de 2019.

GONZÁLEZ, B. Z.; REYES, A. F.; GUTIÉRREZ, A. M.; CALDERÓN, A. E.; ROBLEDO, M. T. Production of corn hybrids with stabilized urea and foliar nutrition. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, v. 9, n. 6, Texcoco, 2018.

GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. *Plant and Soil*, v. 190, n. 1, p. 153-162, 1997.

KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; HOSSEINI, F.; AFYUNI, M. Nickel supplementation effect on the growth, urease activity and urea and nitrate concentrations in lettuce supplied with different nitrogen sources. *Scientia horticultrae*, v. 130, n. 2, p. 381-385, 2011.

Lemos dos Santos, Renato. Molibdênio no Metabolismo e na Fixação Biológica de Nitrogênio em Cana-de-Açúcar. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2014.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M. W.; NASCIF, C.; Silva, V. S. G.; OLIVEIRA, T. B. A.; RODRIGUES T. C.; GAMA, K. F. V.; OLIVEIRA, G. C. B. Biomass yield, nutritional status and industrial quality of sugarcane as a function of nitrogen and potassium fertilization. *Australian journal of crop science*, Brisbane, Austrália, v.12, n.5, p.834-840. 2018.

OTTO, R. Desenvolvimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar relacionados à mineralização do N do solo e à adubação nitrogenada. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-23032012-171851/pt-br.php>. Acesso em: 28 fev. 2024.

PERINA, F. T. Nitrogênio e potássio para produção de mudas de cana-de-açúcar em meiosi. Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP\\_25d661e0ca0680a59d1dc278f8ac55c](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP_25d661e0ca0680a59d1dc278f8ac55c) f. Acesso em: 28 fev. 2024.

Produção Agropecuária | IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>.

Santos, Fernanda Dias dos et al. "Fatores que Afetam a Disponibilidade de Micronutrientes no Solo." *Revista Tecno-Lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272-278, jul./dez. 2021.

SILVA, Leila C. da et al. Nutrient balance in sugarcane in Brazil: diagnosis, use and application in modern agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 2021.

TRIVELIN, P. C. O.; CARVALHO, J. G.; SILVA, A. L.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I. E.; GUILHERME, M. R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): Absorção e translocação de ureia – 15N. *Energia Nuclear na Agricultura*, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.

YOKOYAMA, A. H. et al. Índice de área foliar e SPAD durante o ciclo da soja em função da densidade de plantas e sua relação com a produtividade de grãos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 17, n. 4, p. 531–538, 14 nov. 2018.