

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**OTIMIZAÇÃO DE FONTES E DOSES NITROGÊNIO (^{15}N)
NA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NO CERRADO**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Setembro – 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

**OTIMIZAÇÃO DE FONTES E DOSES NITROGÊNIO (^{15}N)
NA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NO CERRADO**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Setembro – 2017

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SI586 Silva, Nelmício Furtado da
o Otimização de fontes e doses de nitrogênio (15N)
na cana-de-açúcar irrigada no cerrado / Nelmício
Furtado da Silva; orientador Marconi Batista
Teixeira; co-orientador Frederico Antonio Loureiro
Soares. -- Rio Verde, 2017.
115 p.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Saccharum spp.. 2. IACSP95-5000. 3. adubação
nitrogenada. 4. nitrato de amônio. 5. ureia. I.
Batista Teixeira, Marconi , orient. II. Antonio
Loureiro Soares, Frederico , co-orient. III. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-
GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**OTIMIZAÇÃO DE FONTES E DOSES NITROGÊNIO (^{15}N)
NA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NO CERRADO**

Autor: Nelmício Furtado da Silva
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Doutor em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 22 de setembro de 2017.

Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho
Avaliador externo
ESALQ – USP/ Piracicaba - SP

Dr. João Alberto Lelis Neto
Avaliador externo
ESALQ – USP/ Piracicaba
- SP

Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio
Verde

Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde, força e esperança nos momentos de dificuldades.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus queridos pais, Telmício (*in memoriam*) e Lucimar Furtado, por todo amor, e confiança que depositaram em mim, e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. A minha irmã, Lucivaine Furtado e meus sobrinhos Kawany Furtado, Artur Miguel Furtado e Lorenzo Furtado e em especial, ofereço para a minha esposa Lígia Campos, por estar ao meu lado sempre que precisei desde o início desta caminhada, por todo carinho, atenção e compreensão.

"Perseverança é a qualidade que mantém o homem em pé enfrentando o vento.

É a virtude que pode transmutar a provação mais severa em glória porque,

além da dor, vê o alvo."

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria e etc.), principalmente em nome do Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, Osvaldo Resende, Alan Carlos Costa. À Vanilda Maria Campos, pela paciência e apoio desde a matrícula até a defesa da tese, ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste estudo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo auxílio financeiro ao projeto de pesquisa de maneira geral.

À Usina Raízen Bioenergia, localizada no município de Jataí - GO, pela parceria e colaboração na execução do projeto de pesquisa.

Ao centro de energia nuclear na agricultura (CENA) ESALQ/USP, pelo apoio na realização das análises referentes ao ^{15}N e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Ao Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira e Frederico Antônio Loureiro Soares, por todo o apoio e orientação e ensinamentos ao longo da execução deste estudo e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada.

Aos funcionários de todos departamentos da instituição, pela atenção e colaboração nos momentos em que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada. Aos Professores Anísio Corrêa da Rocha, Edson Souchie e Carlos Rodrigues, pelos gestos de incentivo e amizade.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, aos amigos, parceiros, colegas de curso e pesquisa Fernando Nobre Cunha, Luciana Minervina de Freitas Moura, Fabiano José de Campos Bastos, Felipe Carreira da Silva, Wilker Alves Moraes, Vitor Marques Vidal, Fernando Rodrigues Cabral Filho, Edson Cabral da Silva, Cicero Teixeira da Silva, Antonio Evami Cavalcante Sousa, José Joaquim de Carvalho e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

BIOGRAFIA DO AUTOR

NELMÍCIO FURTADO DA SILVA, filho de Telmício Pereira Lacerda e Lucimar Furtado da Silva, nasceu no dia 24 de maio de 1988, na cidade de Rio Verde, Goiás.

No mês de fevereiro de 2008, iniciou no curso de Técnico em Agropecuária no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, finalizando em dezembro de 2009.

Em agosto de 2008, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, graduando-se em maio de 2013.

Em 2010, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) na área de Irrigação e Drenagem, como bolsista (PIBIC/CNPq), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, até a conclusão da graduação em 2013.

Em agosto de 2013, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em agosto de 2014.

Em agosto de 2014, iniciou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em setembro de 2017.

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| ÍNDICE DE TABELAS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES..... | xi |
| RESUMO..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| 1.0 INTRODUÇÃO GERAL..... | 15 |
| 1.1 Cultivo da cana-de-açúcar..... | 15 |
| 1.2 Irrigação na cana-de-açúcar..... | 16 |
| 1.3 Importância do nitrogênio..... | 17 |
| 1.4 Adubação nitrogenada na cana-de-açúcar..... | 19 |
| 1.5 Fonte de adubação nitrogenada..... | 21 |
| 1.6 Fertilizantes marcados com o isótopo estável ¹⁵ N..... | 23 |
| 1.7 Crescimento da cana-de-açúcar..... | 25 |
| 2.0 OBJETIVOS..... | 27 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 27 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 27 |
| 3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 28 |
| 4.0 CAPÍTULO I - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO | 35 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 36 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 38 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 4.4 CONCLUSÃO..... | 55 |
| 5.0 CAPÍTULO II - ACÚMULO DE BIOMASSA E RENDIMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO..... | 64 |
| 5.1 INTRODUÇÃO..... | 65 |
| 5.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 67 |
| 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 72 |
| 5.4 CONCLUSÃO..... | 81 |
| 6.0 CAPÍTULO III - APROVEITAMENTO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO TÉCNICA DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE ¹⁵N | 87 |
| 6.1 INTRODUÇÃO..... | 88 |
| 6.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 90 |
| 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 95 |
| 6.4 CONCLUSÃO..... | 107 |
| 7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 112 |
| 8.0 CONCLUSÃO GERAL..... | 113 |

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO.

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabela 1. | Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15 | 39 |
| Tabela 2. | Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), comprimento de entrenó (CE) e número de entrenó (NE) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 44 |
| Tabela 3. | Teste de média para a variável comprimento de entrenó (CE) em função da fonte de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 47 |
| Tabela 4. | Resumo da análise de variância para as variáveis número de folha verde (NFV), número de folha morta (NFM), número de folha total (NFT) e área foliar (AF) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 48 |
| Tabela 5. | Teste de média para a variável comprimento de entrenó (CE) em função da fonte de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 52 |
| Tabela 6. | Resumo da análise de variância para as variáveis número de perfilhos industrializáveis (NPI), produtividade de ponteiro (PP), produtividade de colmo (PC) e açúcares totais recuperáveis (ATR) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 53 |

CAPÍTULO II - ACÚMULO DE BIOMASSA E RENDIMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO.

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabela 1. | Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 68 |
| Tabela 2. | Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de folha verdes (MSFV), matéria seca de folha morta (MSFM) e matéria seca de ponteiro (MSPT) em função da fonte e dose de avaliação de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 73 |
| Tabela 3. | Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca total de parte aérea (MSTPA) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 76 |
| Tabela 4. | Resumo da análise de variância para as variáveis rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBAL) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 79 |

CAPÍTULO III - APROVEITAMENTO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO TÉCNICA DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE ¹⁵N.

| | | |
|------------------|---|-----|
| Tabela 1. | Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 91 |
| Tabela 2. | Resumo da análise de variância para as variáveis nitrogênio acumulado pela planta (NA, kg ha ⁻¹), percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf), quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf, kg ha ⁻¹), aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral, quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps, kg ha ⁻¹) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 96 |
| Tabela 3. | Médias de nitrogênio acumulado pela planta (NA) nas diferentes fontes de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 98 |
| Tabela 4. | Médias de percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 99 |
| Tabela 5. | Médias de quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 101 |
| Tabela 6. | Médias de aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 104 |
| Tabela 7. | Médias de quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO.

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1. | Dados quinzenais, precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, Jataí – GO, 2015..... | 39 |
| Figura 2. | Médias de altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), comprimento de entrenó (C) e número de entrenó (D) em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 46 |
| Figura 3. | Diâmetro de colmo em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 46 |
| Figura 4. | Número de folha verde em função da dose de nitrogênio (A) e número de folha verde em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 49 |
| Figura 5. | Número de folha morta em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 50 |
| Figura 6. | Número de folha total em função da dose de nitrogênio (A), em função da época de avaliação (B) e em função da fonte de adubação nitrogenada (C), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 51 |
| Figura 7. | Área foliar em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 53 |
| Figura 8. | Produtividade de ponteiro (A) e produtividade de colmo (B) em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15. | 54 |
| Figura 9. | Açúcares totais recuperáveis em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 55 |

CAPÍTULO II - ACÚMULO DE BIOMASSA E RENDIMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO.

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1. | Dados quinzenais, precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, Jataí – GO, 2015..... | 68 |
| Figura 2. | Matéria seca de folha verde em função da dose de N (A) e em função dos dias após o plantio (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 74 |
| Figura 3. | Matéria seca de folha morta em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 75 |
| Figura 4. | Matéria seca de ponteiro em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 75 |
| Figura 5. | Matéria seca de colmo em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 77 |
| Figura 6. | Matéria seca total de parte aérea em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 78 |
| Figura 7. | Rendimento bruto de açúcar (A) e rendimento bruto de álcool (B) em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 80 |

CAPÍTULO III - APROVEITAMENTO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO TÉCNICA DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE ¹⁵N.

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 1. | Dados quinzenais, precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, Jataí – GO, 2015..... | 91 |
| Figura 2. | Nitrogênio acumulado pela planta (NA) em função da dose de nitrogênio - nitrato de amônio (NA) e ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro (B), Jataí – GO, safra 2014/15..... | 97 |
| Figura 3. | Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) e ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 99 |
| Figura 4. | Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 100 |
| Figura 5. | Aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 102 |
| Figura 6. | Quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15..... | 105 |

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

| | |
|------------------------------------|---|
| %Nppf..... | Percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%) |
| ¹⁵ N..... | Isótopo estável do nitrogênio |
| AF..... | Área foliar (m ²) |
| AP..... | Altura de planta (m) |
| AP..... | Aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (%) |
| ARL..... | Açúcares redutores livres |
| ATR..... | Açúcares totais recuperáveis |
| CC..... | Capacidade de campo |
| CE..... | Comprimento de entrenó (m) |
| cm..... | Centímetros |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| CTC..... | Capacidade de troca catiônica |
| CV..... | Coefficiente de variação (%) |
| DAP..... | Dias após o plantio |
| DC..... | Diâmetro de colmo (mm) |
| Dp..... | Densidade de partículas |
| Ds..... | Densidade do solo |
| FBN..... | Fixação biológica de nitrogênio |
| FV..... | Fonte de variação |
| GL..... | Grau de liberdade |
| ha..... | Hectare |
| K..... | Potássio (mmol dm ⁻³) |
| Kg..... | Kilogramas |
| LVd..... | Latossolo Vermelho distrofico |
| m..... | Metro |
| Macro..... | Macroporosidade |
| Mg..... | Magnésio (mmol dm ⁻³) |
| Micro..... | Microporosidade |
| mm..... | Milímetros |
| MO..... | Matéria orgânica (g kg ⁻¹) |
| MOS..... | Matéria orgânica do solo |
| MSC..... | Massa seca do colmo (g) |
| MSFM..... | Massa seca da folha morta (g) |
| MSFV..... | Massa seca da folha verde (g) |
| MSPT..... | Massa seca do ponteiro (g) |
| MSTPA..... | Massa seca total da parte aérea (g) |
| N..... | Nitrogênio |
| NA..... | Nitrato de amônio |
| NA..... | Nitrogênio acumulado (kg ha ⁻¹) |
| NE..... | Número de entrenó (adimensional) |
| NFM..... | Número de folhas morta (adimensional) |
| NFT..... | Número de folha total (adimensional) |
| NFV..... | Número de folha verde (adimensional) |
| NH ₃ | Amônia |
| NH ₄ ⁺ | Amônio |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |

| | |
|------------|---|
| NPI..... | Número de perfilhos industrializáveis (adimensional) |
| P..... | Fósforo (mg dm^{-3}) |
| PC..... | Produtividade de colmo (t ha^{-1}) |
| PMP..... | Ponto de murcha permanente |
| PP..... | Produtividade de ponteiro (t ha^{-1}) |
| PT..... | Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) |
| QM..... | Quadrados médios |
| QNppf..... | Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}) |
| QNpps..... | Quantidade de N proveniente do N nativo do solo (kg ha^{-1}) |
| RBAÇ..... | Rendimento bruto de açúcar (t ha^{-1}) |
| RBAL..... | Rendimento bruto de álcool ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) |
| S..... | Enxofre (mmol dm^{-3}) |
| t..... | Tonelada |
| U..... | Ureia |
| V..... | Saturação por bases (%) |

RESUMO

SILVA, N. F. **Otimização de fontes e doses de nitrogênio (^{15}N) na cana-de-açúcar irrigada no cerrado.** 2017. 115p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

O objetivo deste estudo foi definir a dose ótima de N de diferentes fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Raízen, localizada no município de Jataí - GO, Brasil, em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado. Utilizou-se a variedade IACSP95-5000, em um delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os fatores avaliados nas parcelas constituíram de quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); nas subparcelas duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as 2,0 linhas centrais. A irrigação foi por aspersão, realizada por um pivô central. Foram avaliadas as variáveis biométricas: altura de planta, diâmetro de colmo, número de entrenó, comprimento de entrenó, número de folha verde, número de folha morta, número de folha total, área foliar e produtividade de colmos; As variáveis de biomassa: matéria seca de folha verde, matéria seca de folha morta, matéria seca de ponteiro, matéria seca total de parte aérea, rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool; Além disso, foram avaliados as variáveis: nitrogênio acumulado pela planta, quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral e quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ($p < 0,05$), análise de regressão para doses de N e épocas de avaliação e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para fontes de N. As variáveis produtivas apresentaram um incremento médio de 25,23%, correspondente a 142,54 kg ha⁻¹ de N. O aproveitamento médio do nitrogênio é de 60,17 e 44,95%, respectivamente para nitrato de amônio e ureia.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, adubação nitrogenada, nitrato de amônio, ureia, Latossolo, Goiás.

ABSTRACT

SILVA, N. F. **Optimization of sources and doses of nitrogen (^{15}N) in irrigated sugarcane in the cerrado.** 2017. 115p. Thesis (Doctor in Agricultural Sciences – Agronomy) Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

The objective of this study was to define the optimal N dose of different nitrogen sources in irrigated sugarcane in the cane-plant cycle in a very clayey dystrophic Red Latosol, cerrado phase. The experiment was conducted at the Raízen Mill, located in the municipality of Jataí - GO, Brazil. The variety IACSP95-5000 was used in a randomized block experimental design, analyzed in a split-split-plot scheme of four replications. The factor in the plots were four doses of N (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹); The subplot were two sources of N (urea and ammonium nitrate) and as sub-subplot were represented by four evaluation periods (210, 250, 290 and 330 days after planting - DAP). The plots had 6.0 lines of 5.0 m, whose useful area was the 2.0 central lines. The irrigation was by sprinkling, performed by a central pivot. The evaluated biometrics variables were: plant height, stalk diameter, total number of leaf, leaf area and stalk yield; The biomass variables: dry matter of green leaf, dry matter of stalk, total dry matter of aerial part, gross sugar yield and gross alcohol yield; In addition, there were evaluated the variable nitrogen accumulated by plant, amount of N in the plant from the fertilizer, nitrogen utilization of the mineral fertilizer, amount of N in plant from native N of the soil. The results were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), regression analysis for N rates and epochs and means by Tukey test ($p < 0.05$) for N sources. The productive variables presented an average increase of 25.23%, corresponding to 142.54 kg ha⁻¹ of N. The average nitrogen utilization is 60.17 and 44.95%, respectively, for ammonium nitrate and urea.

Key words: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, nitrogen fertilization, ammonium nitrate, urea, Latosol, Goiás.

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Cultivo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é cultivada no Brasil desde o século XVI e expandiu-se no país, sendo utilizada na produção de açúcar para o consumo interno e exportação, gerando divisas para o país e adquiriu grande importância econômica, pela grande demanda por bioenergia, produção de combustível limpo e renovável, substituindo os combustíveis derivados do petróleo. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus derivados, açúcar e álcool, favorecido por sua extensa área e pelo clima propício à produção vegetal durante todo o ano.

A área colhida de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 foi de 8.654,2 mil hectares. São Paulo, maior produtor, possui 52% (4.498,3 mil hectares), seguido por Goiás com 10,4% (885,8 mil hectares), Minas Gerais com 10,1% (866,5 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7% (596,8 mil hectares), Paraná com 6% (515,7 mil hectares), Alagoas com 3,7% (323,6 mil hectares), Pernambuco com 3% (254,2 mil hectares) e Mato Grosso com 2,7% (232,8 mil hectares). Estes oito estados são responsáveis por 94,9% da produção nacional. Os outros 14 estados produtores possuem áreas menores que 1% da área total do país, totalizando 5,1% da área total do país (CONAB, 2016).

De acordo com Silva & Strachman (2013), a cana-de-açúcar apresenta o menor custo de produção por unidade de biomassa, e permite ao etanol brasileiro se manter em posição de vantagem em relação aos concorrentes. Além disso, sua utilização é ambientalmente sustentável devido ao efeito mitigador da produção de biomassa nas emissões de gases de efeito estufa (NASS et al., 2007; MACEDO et al., 2008).

Para aumentar a produtividade dos canaviais, deve-se otimizar o manejo dos fertilizantes visando redução dos custos e sustentabilidade da produção de bioenergia. Nesse sentido, há demanda por pesquisas que possam contribuir para o manejo sustentável do sistema de produção da cana-de-açúcar (PEREIRA, 2015). Fatores como o maior vigor do sistema radicular da cana-planta comparado ao da soqueira, a melhoria da fertilidade do solo associada à calagem, a incorporação de restos culturais do ciclo anterior, a adubação feita na reforma do canavial, a menor demanda inicial por nutrientes da cana-planta, as perdas de N fertilizante por lixiviação e a contribuição de N do colmosemente podem estar favorecendo as baixas respostas da cana-planta à adubação nitrogenada (SCHULTZ et al., 2015).

Com base em análises conjuntas de avaliações de resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, Cantarella et al. (2007) reuniram resultados de 74 ensaios e concluíram que apesar de serem em muitos casos pequenos, os incrementos de produtividade obtidos em cana-planta em função da adubação nitrogenada são significativos. Segundo Vitti et al. (2008), fatores como valores elevados de erros experimentais associados a ensaios de adubação em condições de campo e a avaliação de resultados de ensaios isolados com pequenos incrementos na produtividade em razão da adubação nitrogenada, conduzem muitos técnicos a considerar que a cana-planta pode dispensar a aplicação de fertilizante nitrogenado. Nesse contexto, considerando seus altos custos e a inconsistência de respostas obtidas na cana-de-açúcar com a adubação nitrogenada, é fundamental o desenvolvimento de práticas agrícolas e a busca por fontes alternativas que visam ao melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2008).

Diante do exposto, foi possível formular as seguintes hipóteses: i) a aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio influência no crescimento e desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar; ii) a época de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar é afetada pela fonte e dose de nitrogênio; e iii) a fonte e dose de nitrogênio influência no acúmulo e aproveitamento do nitrogênio pela cana-de-açúcar.

1.2 Irrigação na cana-de-açúcar

As técnicas de irrigação trazem diversos benefícios para a cultura da cana-de-açúcar, garantindo condições ideais de umidade no solo e proporciona maior absorção de água e nutrientes, e se traduz em maior produtividade (ARANTES, 2012). A tecnologia de irrigação vem sendo introduzida em algumas áreas como alternativa na melhoria da qualidade total do processo de produção do setor sucroenergético. A melhoria da qualidade da cana-de-açúcar pode ser obtida com o uso da irrigação (GOUVEIA NETO, 2012). Neste contexto, a irrigação na cultura tem surgido como inovação tecnológica no setor e têm apresentado resultados promissores. O fornecimento adequado de água durante o ciclo contribui para que a planta alcance seu máximo de produtividade.

A irrigação, além de aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, promove melhorias nos índices de qualidade da matéria-prima (FARIAS et al., 2009). A irrigação plena em cana-de-açúcar ainda é pouco difundida, porém seus benefícios para a cultura são vários. No entanto, a aplicação de água nas culturas deve ser manejada de forma

racional, considerando os aspectos sociais e ecológicos da região, procurando maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos, quer de mão de obra, quer de capital, de forma a tornar lucrativa a atividade. Deve-se fazer irrigação com o objetivo de aumentar o lucro e a produtividade, em quantidade e em qualidade (BERNARDO, 2007).

Em Goiás, o regime pluviométrico é caracterizado pela irregularidade na distribuição das chuvas, com um verão chuvoso (outubro a abril) e um inverno seco (maio a setembro), há necessidade portanto, da irrigação suplementar da cana-de-açúcar em Goiás é evidente e imprescindível, a fim de assegurar a brotação das soqueiras das canas cortadas, principalmente nos meses de julho, agosto e setembro (CAMPOS et al., 2012).

Vários trabalhos ressaltam a importância do uso da irrigação na cana-de-açúcar para a promoção do crescimento vertical da produção, reduzindo a expansão horizontal; além disso o uso da irrigação promove alteração no número de perfilhos e índice de área foliar, quando em comparação ao cultivo não irrigado (BARBOSA et al., 2012). Períodos prolongados com baixa disponibilidade hídrica afetam negativamente a qualidade tecnológica da cultura e a produtividade de colmos e de açúcar (INMAN-BAMBER, 2004).

A incorporação de novas áreas promove o plantio de cana-de-açúcar em áreas antes consideradas marginais, sobremaneira por deficiência hídrica (MANZATTO et al., 2009). A combinação da irrigação com variedades edafoclimaticamente adaptadas proporciona incrementos na qualidade do caldo e na produção de colmos e de açúcar (CARVALHO et al., 2009); a irrigação eleva a produtividade média em 20% no ciclo da cana-planta e de 28% no segundo ciclo (cana-soca) (GAVA et al., 2011).

1.3 Importância do nitrogênio

O nitrogênio (N) é considerado um elemento essencial, classificado como macronutriente primário para os vegetais por participar das mais diversas estruturas orgânicas e, relaciona-se aos mais importantes processos fisiológicos que ocorrem nas plantas. Taiz & Zeiger (2013) definiram elemento essencial como sendo: “um componente intrínseco na estrutura ou no metabolismo de uma planta ou cuja ausência causa anormalidades graves no crescimento, desenvolvimento e reprodução vegetal”.

A grande importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar diz respeito ao fato de ela ser uma *Poaceae*, de metabolismo de carbono do tipo C4, caracterizado por altas

taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, sendo altamente eficiente na produção de matéria seca. Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, a sua carência promoverá a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, e também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA, 2006).

De todo o nitrogênio encontrado no solo aproximadamente 98% está na forma orgânica, sendo componente dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo em diferentes partículas e com variados graus de recalcitrância, ou ainda como parte de organismos vivos, e somente cerca de 2% encontra-se em frações inorgânicas. Assim, segundo Cantarella (2007) mesmo com elevado estoque de N-orgânico no solo, ele não se encontra disponibilizado para atender a demanda das plantas. Esta disponibilização é dependente da ocorrência de mineralização, ou seja, da transformação do nitrogênio da forma orgânica para a inorgânica. A mineralização depende de vários fatores que determinam à atuação dos diversos grupos de microrganismos que realizam o processo e estima-se que anualmente esta transformação não passa de 3% do N total do solo.

O nitrogênio pode ingressar no sistema solo-planta por diferentes vias; como por exemplo, deposições atmosféricas através de descargas elétricas na atmosfera, fixação biológica de N_2 por bactérias diazotróficas de vida livre, simbióticas e associadas as espécies vegetais e através de adubações químicas ou orgânicas. Em contrapartida, também pode ser retirado do sistema por muitas vias, entre elas se incluem a lixiviação, volatilização de amônia e desnitrificação, além da exportação pela própria cultura (CANTARELLA, 2007).

A ciclagem do N no solo é caracterizada por uma série de reações químicas e microbianas, que podem resultar em baixa eficiência de uso pelos vegetais dos fertilizantes nitrogenados, especialmente em situações em que a mineralização líquida de N é elevada (MARIANO et al., 2013). Desse modo, estudos voltados às taxas brutas em solos agrícolas podem ajudar a desvendar os caminhos percorridos pelo N, evitando perdas e garantindo o manejo mais adequado do nutriente nos agrossistemas.

O N é um elemento que apresenta um ciclo biogeoquímico complexo por ser naturalmente encontrado no ambiente em grande diversidade de compostos químicos, apresenta múltiplas transformações que ocorrem no sistema solo-planta atmosfera e, por ser dependente da ação de microrganismos (CANTARELLA, 2007b).

1.4 Adubação nitrogenada na cana-de-açúcar

Com a expansão da cultura canavieira no Brasil, geralmente, em solos de baixa fertilidade natural, é de fundamental importância manter o nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) é um dos absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, sendo superado apenas pelo potássio (K). Para a produção de 100 toneladas de colmos, a cana-de-açúcar extrai do solo em torno de 200 a 300 kg de N (TRIVELIN et al., 1995). Para Cantarella et al. (2007) o nitrogênio (N) é requerido em grandes quantidades para a produção de biomassa, em média 1,4 kg de N por tonelada de colmo produzido. É dentre os nutrientes minerais aplicados para a produção de cana-de-açúcar no Brasil o mais caro, e as quantidades adubadas de N fertilizante geralmente são iguais ou menores do que as exportadas pelos colmos ou perdidas com a queima dos resíduos culturais (CANTARELLA et al., 2007; VITTI et al., 2011).

A cana-de-açúcar irrigada geralmente apresenta maior resposta à adubação nitrogenada do que aquela cultivada em áreas de sequeiro (NG KEE KWONG et al., 1999; WIEDENFELD & ENCISO, 2008; URIBE, 2010; TEODORO, 2011). A deficiência hídrica e a deficiência de N modificam de forma semelhante o metabolismo, a fisiologia e a morfologia das plantas de cana-de-açúcar, e causa redução na taxa fotossintética e no desenvolvimento vegetal (GAVA et al., 2010, 2011; KÖLLN, 2012).

Segundo Gava et al. (2010), as interações entre os estresses: hídrico e de nitrogênio sobre a produtividade da cana-de-açúcar não são bem compreendidas. Pois tanto a deficiência de nitrogênio como de água reduzem drasticamente a capacidade fotossintética da cana-de-açúcar. A deficiência de nitrogênio interfere nas atividades da PEPCASE e da RUBISCO (RANJITH et al., 1995; MEINZER & ZHU, 1998).

No Brasil, trabalhos realizados por Teodoro (2011) em Rio Largo, AL, e por Kölln (2012) em Jaú, SP, comprovaram as respostas positivas da cana-de-açúcar à aplicação de N em ambientes de manejo irrigado. Os resultados obtidos nessas pesquisas contrastam com as curvas de resposta a N obtidas em estudos recentes com cana-de-açúcar em condições de sequeiro, nos quais as produções máximas foram atingidas com doses de 100 a 120 kg ha⁻¹ de N (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010). Esse fato indica que as recomendações de adubação nitrogenada devem ser maiores para os ambientes que apresentam baixa restrição hídrica (ambientes irrigados), comparados aos ambientes de sequeiro, pois os potenciais de produtividade da cultura

são maiores (GAVA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; ANDRADE JÚNIOR et al., 2012).

No Estado de Goiás, Sousa & Lobato (2004) recomendam, para expectativa de produtividade superior a 120 t ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹ no sulco de plantio e de 20 a 60 kg de N em cobertura. Contudo, para cultivos irrigados ainda não se tem uma recomendação precisa de dose de N no Brasil. Isto demanda que os fatores que interferem na produção e na qualidade da cana-de-açúcar sejam estudados sob diferentes aspectos. Em São Paulo, a maior dose recomendada atualmente para cana-planta é de 90 kg ha⁻¹ de N (30 kg no sulco de plantio e 60 kg em cobertura), Raij et al. (1996), em relação à cana-soca, recomendam de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N, conforme a produtividade esperada. Essas doses são inferiores à quantidade exportada pelos colmos (CANTARELLA et al., 2007). Além disso, a crescente adoção colheita sem queima no Brasil traz implicações quanto ao manejo do N.

No Brasil, experimentos realizados em condições de campo, com aplicação de ureia sobre palhada de cana, têm mostrado perdas por volatilização de amônia (NH₃) que podem atingir 20 a 40%, ou mais, do N aplicado (CANTARELLA et al., 1999). Dados semelhantes têm sido relatados em outras regiões produtoras de cana do mundo (DENMEAD et al., 1990; FRENEY et al., 1992). O uso da irrigação e/ou de fontes como nitrato de amônio ou sulfato de amônio mitiga o problema das perdas gasosas de NH₃ e pode contribuir para aumentar a eficiência de uso da água e do N do fertilizante (CANTARELLA et al., 2007).

Os aspectos positivos da produção de cana-de-açúcar para a produção de bioenergia estão intimamente relacionados com a produtividade da cultura e uso do N. No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada com doses relativamente baixas de N (90-120 kg ha⁻¹). Em outros países produtores de cana-de-açúcar, as quantidades de N aplicadas na cultura podem ser até 100% superiores (150-250 kg ha⁻¹) às doses empregadas no Brasil, com a obtenção de produtividades similares (CANTARELLA et al., 2007).

A crescente adoção, incentivada por legislação ambiental, da cana colhida sem despalha a fogo, gera vários questionamentos para o manejo da adubação nitrogenada não só com respeito às doses, mas também às fontes e modos de aplicação. Ao colher a cana mecanicamente sem a queima prévia, mantém-se sobre a superfície do solo uma grande quantidade de resíduos vegetais (10-15 t ha⁻¹ de matéria seca), que correspondem às folhas secas, ponteiros e pedaços de colmos. Esses resíduos representam acúmulo considerável de massa seca e nutrientes que podem provocar

alterações importantes na disponibilidade de nutrientes (FRANCO et al., 2013; TRIVELIN et al., 2013). Em longo prazo, esse acúmulo de resíduos pode resultar em reduções na demanda de fertilizantes nitrogenados, porém em curto e médio prazo podem ocorrer aumentos na necessidade de N-fertilizante (ROBERTSON; THORBURN, 2007; TRIVELIN et al., 2013). Trabalhos mais recentes em cana-soca sem queima prévia têm apresentado tendências a aumento nas doses de N para a cana-soca (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010; FORTES et al., 2013; PENATTI, 2013). Além da imobilização de N causada pela grande quantidade de resíduos, as respostas positivas têm sido atribuídas ao uso de variedades mais produtivas e responsivas (PENATTI, 2013).

1.5 Fonte de adubação nitrogenada

Atualmente praticamente todos os fertilizantes nitrogenados minerais possuem em comum a origem a partir da amônia sintética (NH_3), sendo somente uma pequena porcentagem suprida por nitrato de sódio e/ou potássio natural, cianamida de cálcio e outras fontes menores (VITTI & HEIRINCHS, 2007).

Os principais fertilizantes nitrogenados de origem mineral consumidas no mundo: ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, fosfato monoamônio (MAP), nitrocálcio, amônia anidra, aquamônia, uran, fosfato diamônio (DAP), nitrato de sódio, nitrato de cálcio e nitrosfosfatos. No Brasil, em 2006 o consumo de N esteve distribuído em: 49,7% na forma de ureia, 15,3% como sulfato de amônio e 14,2% como MAP (ANDA, 2006). Outras fontes de fertilizantes nitrogenados também são citadas como; nitrocálcio (27% N), amônia anidra (82% N), aquamônia (20% N), uran (28 a 32% N), fosfato diamônio (DAP), nitrato de sódio (16% N), nitrato de cálcio (15 a 16% N e 19% Ca) e nitrosfosfatos, produzidos pelo tratamento de rochas fosfatadas com ácido nítrico, resultando em ácido fosfórico, nitrato de cálcio e nitrato de amônio (CANTARELLA, 2007).

A ureia, o sulfato e o nitrato de amônio são atualmente os mais utilizados na adubação da cana-de-açúcar, no entanto, em razão do menor custo por unidade de N da ureia, o alto custo do N contido no sulfato de amônio e as restrições impostas no transporte do nitrato de amônio pelo seu alto risco explosivo, a ureia é atualmente a fonte mais utilizada no Brasil e no mundo (COSTA et al., 2003; CANTARELLA et al., 2008), apesar de apresentar as maiores perdas por volatilização de NH_3 quando aplicado

em superfície sobre a palhada em sistema de cana colhida sem queima prévia (CABEZAS, 1998; COSTA et al. 2003; CANTARELLA et al., 1999).

A aplicação de ureia na superfície do solo pode resultar em perdas de N por volatilização de $N-NH_3$ da ordem de 20 a 40% no sistema de cultivo atualmente adotado, no qual há baixa mobilização do solo e grande acúmulo de palhada proveniente da colheita mecanizada sem queima prévia (CANTARELLA et al., 1999; VITTI, 2007; CANTARELLA et al., 2007). Outros fertilizantes nitrogenados têm sido avaliados como opções de substituição à ureia para adubação da cana-de-açúcar sob colheita sem prévia queima. Dentre eles destacam-se fontes convencionais como nitrato de amônio e sulfato de amônio, tal qual outras fontes como nitrato de amônio com cálcio e magnésio dolomítico, cloreto de amônio e fertilizantes organominerais líquidos (COSTA et al., 2003; VIEIRA-MEGDA et al., 2015; MARIANO et al., 2015).

A substituição da ureia pelo nitrato de amônio pode-se constituir numa boa opção, já que a volatilização é praticamente nula quando se usa esta fonte, e aumentaria a disponibilidade no solo e os teores foliares na planta (MARCELO, 2008).

A ureia é um composto nitrogenado sólido, que se apresenta na forma de grânulos brancos e possui 46% de N na forma amídica. É o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, e tem como vantagens a maior concentração de N em comparação as outras fontes nitrogenadas disponíveis no mercado. Esta característica contribui para menor custo de transporte, estocagem e aplicação por unidade de N. Tem como outras características ser altamente solúvel em água, ter menor corrosividade e apresentar compatibilidade com diversos fertilizantes e defensivos (CANTARELLA, 2007). A ureia é o principal adubo nitrogenado utilizado por apresentar menor custo por unidade de nutriente, além de ser altamente solúvel em água e pela boa assimilação dos seus produtos pelas plantas. Entretanto, apresenta restrições quanto às perdas de nitrogênio que podem comprometer sua eficiência (STAFANATO, 2009). Calcula-se que cerca de 50% do N aplicado aos solos não é aproveitado pelas plantas num primeiro ciclo (CANTARELLA, 2007). Vários autores demonstram em seus estudos, que independentemente da forma de aplicação, sempre vão ocorrer perdas de N para o sistema, seja por lixiviação, retenção nas partículas do solo, volatilização, entre outras. Alguns estudos apresentam resultados de eficiência do nitrogênio aplicado, e pode aumentar as perdas dependendo da escolha do fertilizante e forma de aplicação (SCHULTZ et al., 2015).

Outra fonte é o nitrato de amônio que apresenta 33% N em sua composição sendo metade na forma nítrica e a outra metade na forma amoniacal. É a fonte nitrogenada mais utilizada em vários países do norte da Europa, e, no Brasil, corresponde a quarta fonte mais utilizada (ANDA, 2006).

Outras fontes de N, por exemplo, mineralização do N do solo, reserva de N nas raízes, e fixação biológica de N podem fornecer quantidade apreciável de N para a cana-de-açúcar, principalmente a mineralização do N do solo (URQUIAGA et al., 2012; OTTO et al., 2013; MARIANO et al., 2015; VIEIRA-MEGDA et al., 2015). Porém, alguns estudos têm apontado que a maior contribuição do N para a cana-de-açúcar pode ser através da mineralização do N do solo. Com isso, para a manutenção de produtividades elevadas é essencial à adição de adubos nitrogenados complementando a exigência nutricional da cultura e manter o nível adequado de N no solo (LEITE, 2011).

1.6 Fertilizantes marcados com o isótopo estável ^{15}N

Fertilizantes marcados com o isótopo estável ^{15}N são usados em experimentos em que se procura avaliar o destino do N do adubo no sistema solo-planta. Nos últimos 35 anos, a técnica de traçador com o isótopo ^{15}N contribuiu decisivamente para aumentar o entendimento sobre as transformações do nitrogênio nesse sistema.

O método do traçador ^{15}N , de mais amplo uso em estudo das transformações de N no solo, envolve a adição de um substrato ^{15}N de um processo de interesse e observa-se a acumulação do isótopo no produto. Os primeiros estudos das transformações no N no sistema solo-planta com o traçador ^{15}N foram realizados usando essa técnica.

Estudos com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N , desenvolvidos em várias partes do mundo, evidenciaram que o aproveitamento do N de fertilizantes aplicados ao solo pela cultura da cana-de-açúcar poderia variar entre 10 e 50%, dependendo das condições de solo, clima e de manejo da cultura (TAKAHASHI, 1967; RUSCHEL et al., 1978; BITTENCOURT et al., 1986).

A recuperação, eficiência de utilização ou aproveitamento do N pelas plantas, pode ser determinada pelo método da diferença ou indireto ou pelo método isotópico ou direto, com o uso do isótopo estável ^{15}N . A grande vantagem da técnica isotópica é a exclusiva possibilidade de separar nas várias partes da planta a fração de um nutriente proveniente do fertilizante, daquele do solo, permitindo avaliar com maior precisão os efeitos dos tratamentos sobre a planta. Na maioria dos trabalhos com uso de fertilizantes minerais nitrogenados marcados com ^{15}N , a recuperação do nutriente pela cana-de-

açúcar situa-se em torno de 40% (COURTAILLAC et al., 1998). Com isso, a realização do balanço de nitrogênio, com uso de fertilizantes marcados com ^{15}N tem sido de muita valia em estudos das transformações do N no sistema solo-cana-de-açúcar, bem como para a recomendação manejos mais adequados (dose, fonte e época de aplicação) de fertilizantes.

Os isótopos estáveis podem ser usados nas avaliações de fertilidade e nutrição de plantas possibilitando o seguimento do nutriente em estudo nas várias partes das plantas. E assim, apresentam vantagem sobre os métodos convencionais, permitindo determinações de quantidades inferiores aos limites de detecção dos métodos tradicionais.

A técnica tem como objetivo fornecer um produto com composição isotópica diferente da que ocorre naturalmente do elemento em estudo. Considerando o princípio de que elementos existentes na natureza que possuam N em sua composição terão 0,3663% átomos de ^{15}N , sendo composto em sua maior parte por ^{14}N . Desta forma, se consegue determinar qual a contribuição de uma determinada fonte se ela for enriquecida artificialmente com ^{15}N (ALVES et al., 2005).

A principal restrição na utilização da técnica isotópica está no custo de compostos contendo isótopos e de equipamentos especiais, além de necessitar de pessoal devidamente treinado que tomarão cuidados específicos na manipulação das amostras.

O emprego da técnica com utilização do traçador do isótopo estável ^{15}N permitem estimar as modificações do N no solo, mesmo diante das variadas transformações que acontecem concomitantemente. A metodologia determina o caminho de ambos os isótopos de N (^{15}N e ^{14}N), fornecendo informações acerca do sistema e estimando as taxas de transformação do N.

O uso da técnica vem contribuído para aumentar o entendimento sobre as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta. O nitrogênio na planta ou no solo derivado ou proveniente do fertilizante (Ndff, Nppf ou Npdf), determinado por princípios de diluição isotópica, permite reconhecer em um composto, a contribuição da fonte aplicada ao solo, e que nesse tipo de estudo é marcada com o isótopo estável ^{15}N (ALVES et al., 2005).

1.7 Crescimento da cana-de-açúcar

O crescimento de uma planta se caracteriza pelo aumento irreversível de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo. Em geral, o crescimento se contrapõe ao desenvolvimento, que é um termo mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas (diferenciação) e quantitativas experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006).

A análise de crescimento em plantas é considerada um método padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura em seu ambiente de produção. Esse método tem sido utilizado para investigar efeitos de fenômenos ecológicos (adaptabilidade, diferenças genótípicas na capacidade produtiva, efeitos de competição e influência de práticas agrônômicas) sobre o crescimento das plantas. A análise de crescimento consiste na medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica na planta (biomassa), considerando a produção de massa de matéria seca e descreve as condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total (MARAFON, 2012).

De acordo com Benincasa (2003), o crescimento de uma planta pode ser estudado através de medidas lineares (altura, peso, comprimento, diâmetro de inflorescência e etc.), superficiais, de peso, volumétricas e número de unidades estruturais.

Uma seleção criteriosa de características morfofisiológicas apropriadas, e de métodos expeditos para quantificá-las, seria muito valiosa aos programas de melhoramento da cana-de-açúcar para o desenvolvimento de plantas tolerantes a períodos de seca (PINCELLI, 2010).

Sinclair et al. (2004) relatam que o crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar estão relacionados com a temperatura incidente em cada estágio de desenvolvimento; estes ao estudarem o efeito das temperaturas mínimas ideais para o desenvolvimento das folhas, encontram limites diferentes de temperatura para cada variedade avaliada, tendo observado que a temperatura-base para desenvolvimento dos aparatos foliares estaria em torno de 10°C, variando conforme a variedade.

As características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas (MASCHIO, 2011).

A área foliar é um dos mais importantes parâmetros da análise de crescimento, podendo ser medida através de aparelhos específicos ou de fórmulas que permitem sua estimativa, em muitos casos, com bastante precisão (MAGRO et al., 2011).

O aumento no perfilhamento, em até seis meses de idade, e posterior redução de cerca de 50%, seguida de estabilização tanto em cana-planta quanto em cana-soca, a partir dos nove meses, é característica fisiológica da cana-de-açúcar, também observada em estudos realizados por vários autores (CASTRO & CHRISTOFOLETI, 2005; SILVA et al., 2007).

Na cana-de-açúcar, os principais drenos de carboidratos são representados pelo crescimento da área foliar e sistema radicular, além do próprio acúmulo de sacarose no colmo (MACHADO et al., 2008).

Dantas Neto et al. (2006) observaram efeito significativo do diâmetro do colmo em função da disponibilidade hídrica. Conseqüentemente, ocorre remobilização de energia e de carboidratos das raízes, para aumento do perfilhamento e alongamento do colmo (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; SINGH et al., 2007), que é estimulado pela produção do hormônio vegetal citoquinina.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste estudo foi definir a dose ótima de N de diferentes fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado.

2.2 Específicos

a) avaliar características biométricas, acúmulo de biomassa, produtividade e rendimento industrial para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada na cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado.

b) avaliar o aproveitamento de fontes e doses de nitrogênio pela cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta, com emprego da técnica isotópica de ^{15}N , em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado.

3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L.de. (Org.). Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. **Embrapa Informação Tecnológica**, v. 1, p. 343-368, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO, D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.76-84, 2012.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES 1987-2007, São Paulo, ANDA, 162 p., 2006.

ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 65f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2012.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.952–958, 2012.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Palestra no XVI CONIRD. Goiânia-GO. 2007. 11p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3j1wle6b8.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2013.

BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.5, n.1, p.26-33, 1986.

CABEZAS, A. R. L. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de cerrado. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. Especial Cerrado, p.52 -60, 1998.

CAMPOS, P. F.; ALVES, J. J.; SOARES, R. A. B.; RIBEIRO, P. H. P.; EVANGELISTA, A. W. P. Resposta da cultura da cana-de-açúcar a irrigação de salvamento e ao uso de palha na cobertura do solo na região do cerrado. **XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, 2012.

CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. **Informações Agronômicas IPNI**, n.120, p.12-13, 2007.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: **Congresso Nacional da STAB**, 7., Londrina, p.82-87, 1999.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355-412.

CARVALHO, C.M. DE; AZEVEDO, H.M. DE; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. DE A.; SILVA, C.T.S. DA; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.72 -77, 2009.

CASTRO, P.R.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A.F. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico**. Maceió: Insecta, 2005. p.3-48.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2015/2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2016.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.631-637, 2003.

COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVER, R.; CASABIANCA, H. & GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, 52:9-17, 1998.

DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; JACKSON, A.V.; SMITH, J.W.B; SAFFIGNA, P.G.; WOOD, A.W. & CHAPMAN, L.S. Volatilization of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to sugarcane trash in North Queensland. **Proceedings of the Australian Society Sugar Cane Technologist**, v.12, n.1, p.72-78, 1990.

- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2009.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2763-2770, 2008.
- FRENEY, J.R.; DEANMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, v.31, n.3, p.341-349, 1992.
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.
- GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- GOUVEIA NETO, C. G. **Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob suplementação hídrica e parcelamento de nitrogênio**. 145p. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande, 2012.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185–202, 2005.
- INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops research**. Austrália, v. 89, p. 107-122, 2004.
- LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2011.
- MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 582-595, 2008.
- MACHADO, R. S. et al. Fotossíntese e conteúdo foliar de carboidratos em cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ECOFISIOLOGIA, MATURAÇÃO E

- MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR, 2008, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, 2008. p. 1-5.
- MAGRO, F. J. TAKAO, CAMARGO, G. P. E. TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Produção de Cana-de-Açúcar. 2011, 18p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.
- MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2009, 55p.
- MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, SE**, 2012. 31p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf. Acesso em: 25 mar. 2015.
- MARCELO, D. DON. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011. 2008. 44 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.
- MARIANO, E.; LEITE J.M.; MEGDA M.X.V.; TORRES-DORANTE, L.; TRIVELIN, P.C.O. Influence of nitrogen form supply on soil mineral nitrogen dynamics, nitrogen uptake, and productivity of sugarcane. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, p. 641-650, 2015.
- MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.X.V.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Incubation methods for assessing mineralizable nitrogen in soils under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 450-461, 2013.
- MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 87p. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
- NASS, L.L.; PEREIRA, P.A.A.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: An Overview. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 2228-2237, 2007.
- NG KEE KWONG, K.F.; PAUL, J.P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, v.35, n.1, p.31-37, 1999.

NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, A.C.; SIMÕES NETO, D.E.; ROCHA, A.T.; CARVALHO, L.A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

PEREIRA, G. L. Transformações do nitrogênio no solo e a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada em função da rotação com crotalária. 2015. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2015.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 65 f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A.C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. In: INTERNATIONAL SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 2010, 27., Vera Cruz. **Proceedings...** Vera Cruz: ISSCT, 2010. p.1-8.

RUSCHEL, A.P.; MATSUI, E.; ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. Closed system nitrogen balance studies in sugarcane utilizing ¹⁵N-ammonium sulfate. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., São Paulo, 1977. Proceedings... São Paulo: ISSCT, 1978. p.1539-1547.

SCHULTZ, N. REIS, V. M. URQUIAGA, S. **Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia. Documentos 298), 52 p., 2015.

SILVA, G.; STRACHMAN, E. **Cadeias produtivas do setor sucroalcooleiro: etapas e mudanças tecnológicas em produtos e processos**. Araraquara: UNESP. 2013. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_36833900850.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2015.

SILVA, M. DE A.; GAVA, G.J. DE C.; CAPUTO, M.M.; PINCELLI, R.P.; JERÔNIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S. Uso de reguladores de crescimento como

- potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, v.66, p.545-552, 2007.
- SINCLAIR, T. R.; GILBER, R. A.; PERDOMO, R. E. SHINE JUNIOR, J. N.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, p. 171-178, 2004.
- SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95-100, 2007.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.
- STAFANATO, J. B. **Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*)**. 2009. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica- RJ, 2009.
- TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Artmed, 2013. 954 p
- TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . I. Summer and fall plant and a ratoon crops on the Hamakua coast of Hawaii. **Hawaiian Planter's Record**, v.57, n.3, p.237-266, 1967.
- TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2011. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.
- URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa de acúmulo da biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial com diferentes doses de N-fertilizante**. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- VIEIRA-MEGDA, M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; MEGDA, M.M.; KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 101, p. 241-257, 2015.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. 882p.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. **International Plant Nutrition Institute**. Piracicaba, 2007, 714p.

WIEDENFELD. B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671. 2008.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO: A partir da hipótese de que a fonte e a disponibilidade de nitrogênio influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar irrigada na região do cerrado, objetivou-se com este estudo avaliar características biométricas e a produtividade para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada na cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Raízen, localizada no município de Jataí - GO, Brasil. Utilizou-se a variedade IACSP95-5000, em um delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Os fatores avaliados nas parcelas constituíram de quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); nas subparcelas duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as 2,0 linhas centrais. A irrigação foi por aspersão, realizada por um pivô central. Foram avaliadas as variáveis: altura de planta, diâmetro de colmo, número de entrenó, comprimento de entrenó, número de folha verde, número de folha morta, número de folha total e área foliar. Na colheita, foi determinado o número de perfilhos industrializáveis, produtividade de colmo, produtividade de ponteiro e açúcares totais recuperáveis. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ($p < 0,05$), análise de regressão para doses de N e épocas de avaliação e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para fontes de N. A maior produtividade de colmo, produtividade de ponteiro e quantidade de açúcares totais recuperáveis ocorreu na dose média de 143,61 kg ha⁻¹ de N, com aumento médio de 25,87%.

Palavras chave: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, nitrato de amônio, ureia, cerrado.

GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF IRRIGATED SUGARCANE SUBMITTED TO SOURCES AND DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT: Based on the hypothesis that the source and the availability of nitrogen influence the growth, development and yield of irrigated sugarcane in the cerrado region, this study evaluated the biometric characteristics and yield to define a better source and dose nitrogen fertilization in irrigated sugarcane in the cane-plant cycle in a very clayey dystrophic Red Latosol, cerrado phase. The experiment was conducted at the Raízen Mill, located in the municipality of Jataí - GO, Brazil. The variety IACSP95-5000 was used in a randomized block experimental design, analyzed in a split-split-plot scheme of four replications. The factors evaluated were in the plots of four doses of N (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹); In the subplot two sources of N (urea and ammonium nitrate) and as sub-subplot were represented by four evaluation periods (210, 250, 290 and 330 days after the planting - DAP). The plots contained 6.0 lines of 5.0 m whose, useful area was the 2.0 central lines. The irrigation was by sprinkling, performed by a central pivot. The evaluated variables were: plant height, stalk diameter, total number of leaf, leaf area, number of industrializable tillers, stalk yield, pointer yield and total recoverable sugars. The results were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), regression analysis for N rates and epochs and means by Tukey test ($p < 0.05$) for N sources. The highest stalk yield, pointer yield and total recoverable sugars occurred at the average dose of 143.61 kg ha⁻¹ of N, with an average increase of 25.87%

Keywords: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, ammonium nitrate, urea, cerrado.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é de elevada importância para o setor energético brasileiro, por ser uma fonte de energia alternativa ambientalmente sustentável e renovável.

A eficiência na produção de cana-de-açúcar tem evoluído nos últimos anos de acordo com os ambientes produtivos encontrados. Estes ganhos na eficiência são resultados de melhorias nas práticas de manejo e tecnologia aplicada aos canaviais. A irrigação já exerce papel fundamental como sendo um dos principais instrumentos para

a modernização da agricultura brasileira, permitindo enormes benefícios ao cultivo da cana-de-açúcar (DANTAS NETO et al., 2006; FARIAS et al., 2008, DALRI & CRUZ, 2008, LELIS NETO, 2012; SILVA et al.; 2016), a colheita mecanizada sem queima, em associação com a utilização de subprodutos da agroindústria e aplicação de fertilizantes nitrogenados, têm alterado a dinâmica da ciclagem de nutrientes na interface atmosfera-palhada-solo (RESENDE et al., 2006; PINHEIRO et al., 2010; SINGH et al., 2011; ROSSI et al., 2013).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para a cana-de-açúcar, uma vez que os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al., 2002). Porém, existem muitos trabalhos que mostram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar (WIEDENFELD & ENCISO, 2008, SILVA et al., 2009; FRANCO et al., 2011).

A cana-de-açúcar, importante cultura no cenário energético brasileiro, vem sofrendo mudanças nas formas de manejo no campo. A principal mudança talvez seja a transição da colheita manual com queima prévia do canavial para colheita mecanizada sem despalha à fogo. A colheita sem queima assegura a permanência dos resíduos vegetais (folhas secas e ponteiros) da espécie sobre o solo, e altera a dinâmica da mineralização-imobilização de N nos sistemas canavieiros. Em vista disso, estudos indicaram que há retorno do N oriundo dos restos culturais e, que a mineralização do N-orgânico contribui, mesmo que em pequena parte, com a nutrição do vegetal (VITTI et al., 2011; HOLST et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013).

Oliveira et al. (2011) ressaltam que a avaliação de algumas variáveis morfológicas das plantas como, altura, diâmetro, área foliar e produção, tornam possível a identificação da capacidade produtiva da cultura, além de analisar os efeitos do manejo cultural adotado sobre a espécie. Deste modo, diversos fatores podem interferir na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar que, no final, representa a integração das diferentes condições a que a cultura ficou sujeita (GILBERT et al., 2006). Segundo Machio (2011), as características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas.

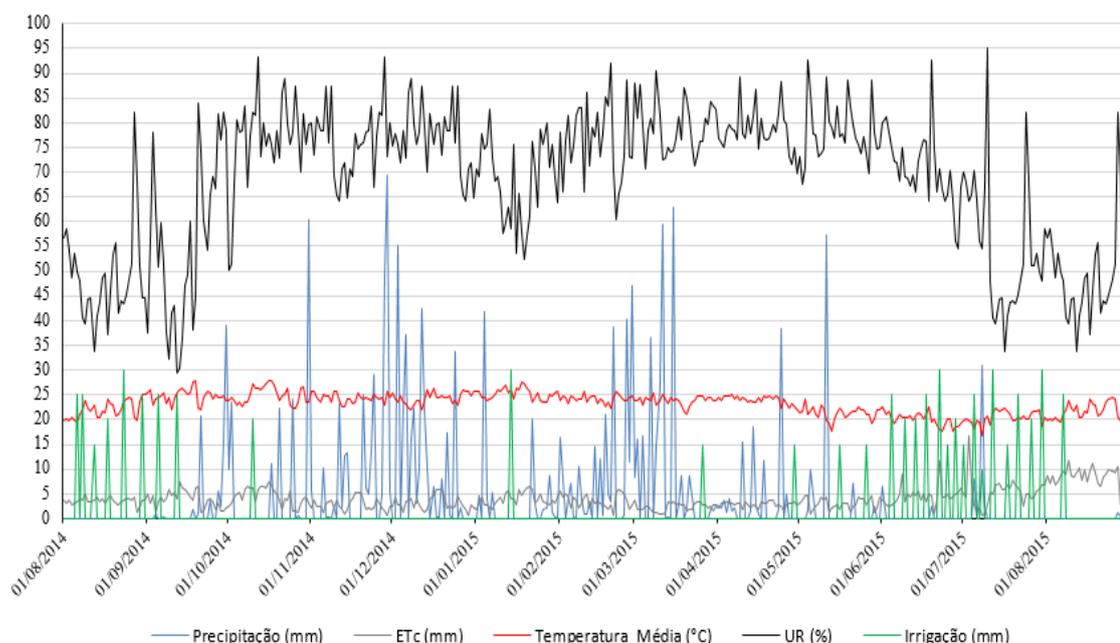
Na literatura, vários estudos mostram a importância do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2009), principalmente por ser parte constituinte dos

ácidos nucleicos e aminoácidos, precursores das proteínas, participando direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e enzimáticos (EPSTEIN & BLOOM, 2006), demonstrando a necessidade de correlacionar a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar irrigada aos parâmetros de crescimento (OLIVEIRA et al., 2014, SILVA et al., 2015, CUNHA et al., 2016).

Atualmente, as doses de N recomendadas para cana-planta estão aquém das reais exigências da cultura e, considerando-se em adição, que a imobilização microbiana e as perdas de N do solo reduzem a concentração de nutriente disponível à cultura, em especial no sistema com manutenção da palhada e em solos de baixa ou média fertilidade, é notório que a cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, nessa condição de carência de N não teria como expressar toda a sua potencialidade produtiva. Neste contexto, é fundamental avaliar o comportamento da cana-de-açúcar nos diferentes ambientes de produção. Dessa forma, partindo da hipótese de que a fonte e a disponibilidade de nitrogênio influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar irrigada na região do cerrado, objetivou-se com este estudo avaliar características biométricas e a produtividade para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada na cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da fazenda Rio Paraíso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são 17°44'2.62"S e 51°39'6.06"O, com altitude média de 907 metros. Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35° a 37°C, e a mínima de 12° a 15 °C (no inverno há ocorrências de até 5°C). A precipitação anual chega a 1.800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

Figura 1. Balanço hídrico diário no período decorrente do experimento, Jataí – GO, safra 2014/15

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso (EMBRAPA, 2013). Área de renovação do canal de 7 anos de cultivo. As características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural das amostras coletadas antes da instalação do experimento, são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15

| Camada m | pH CaCl ₂ | M.O. g dm ⁻³ | P _{Resina} ---mg dm ⁻³ --- | S | K | Ca | Mg | Al |
|-------------|--|----------------------------|---|------------------------|---|------------------|-----|-----|
| | | | | | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 5,9 | 72 | 45 | 13 | 9,9 | 53 | 22 | <1 |
| 0,10-0,20 | 5,6 | 46 | 13 | 26 | 12,1 | 31 | 12 | <1 |
| 0,20-0,40 | 5,2 | 41 | 8 | 91 | 8,9 | 15 | 6 | <1 |
| Camada m | H+Al mmol _c dm ⁻³ | CTC | V % | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| | | | | | -----mg dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 22 | 106,9 | 79 | 0,28 | 1,2 | 39 | 3,4 | 2,1 |
| 0,10-0,20 | 28 | 83,1 | 66 | 0,17 | 1,6 | 36 | 1,6 | 1,0 |
| 0,20-0,40 | 21 | 60,9 | 49 | 0,12 | 1,4 | 25 | 0,7 | 0,3 |
| Camada m | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | Classificação textural | θ _{CC} | θ _{PMP} | | |
| | Areia | Silte | Argila | | cm ³ . cm ⁻³ | | | |
| 0-0,10 | 96 | 82 | 822 | Muito argiloso | 46,3 | 22,6 | | |
| 0,10-0,20 | 97 | 82 | 822 | Muito argiloso | | | | |
| 0,20-0,40 | 85 | 71 | 845 | Muito argiloso | 45,8 | 22,6 | | |

Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais (IAC, 2001). M.O - Matéria Orgânica; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação da CTC por bases; θ_{CC} – Conteúdo de água na capacidade de campo; θ_{PMP} – Conteúdo de água no ponto de murcha permanente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os fatores avaliados nas parcelas constituíram de quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); nas subparcelas duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). A equipe técnica da usina participou da discussão para escolha das doses e fontes de nitrogênio.

A adubação nitrogenada foi realizada de acordo com os tratamentos, aos 60 dias após o plantio, aplicada a lanço, do lado da linha (0,20 m), contrário ao sentido da declividade do terreno. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo (100 kg ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo (P₂O₅), potássio (80 kg ha⁻¹) na forma de cloreto de potássio (K₂O), e micronutrientes, conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa & Lobato (2004).

A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta, plantada em 05/08/2014.

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio. O plantio foi mecanizado, conforme a experiência da usina o número de gemas por metro, conforme as recomendações para a respectiva variedade.

Os tratamentos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, e de acordo com a experiência da Usina Raízen.

A irrigação foi realizada por um Pivô central marca ZIMMATIC, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com uma área total irrigada de 139,31 ha⁻¹, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples IMBIL modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

O monitoramento da lâmina de irrigação foi realizado de acordo com a experiência da Usina Raízen. Durante o ciclo da cultura, diariamente foram coletados os dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima

e mínima (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (kJ m^2) e precipitação diária (mm), obtidos através de estação meteorológica.

A partir da coleta destes dados, foram gerados o balanço hídrico e o balanço de água no solo com o auxílio de um software de gerenciamento de irrigação (IRRIGER®). No software, o monitoramento climático é utilizado para estimar o consumo hídrico diário da cana-de-açúcar, gerando o balanço hídrico diário e calculando a lâmina de irrigação a ser aplicada, permitindo o controle do momento adequado para irrigar. O software utiliza o método de Penman-Monteith (Padrão FAO, 1991), adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Nas linhas centrais das subparcelas foram coletados dois perfilhos para avaliar as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de entrenó (NE), comprimento de entrenó (CE), número de folha verde (NFV), número de folha morta (NFM), número de folha total (NFT), e área foliar (AF), conforme Benincasa (2003) a altura da planta foi mensurada com auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +1 (folha +1 é aquela que se pode visualizar completamente o colarinho), e expresso em m; O diâmetro de colmo foi determinado com auxílio de um paquímetro na base da planta, e expresso em mm; O número de entrenó foi obtido pela contagem em todo o colmo das plantas a partir do destacamento dos primeiros colmos; O comprimento de entrenó foi determinado com auxílio de uma régua graduado em 0,30 m em todo o colmo das plantas a partir do destacamento dos primeiros colmos, e expresso em m; O número de folha foi determinado pela contagem das folhas totalmente expandida, sendo considerada como folha verde no mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1; A área foliar foi determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999):

$$AF = C \cdot L \cdot 0,75 \cdot (N + 2) \quad (1)$$

em que:

C - comprimento da folha +3;

L - largura da folha +3;

0,75 - fator de correção para área foliar da cultura;

N - número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas 4 últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana-de-açúcar, utilizou-se o parâmetro conhecido como Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando um refratômetro portátil. Os valores de IM são: (a) menor que 0,60 para cana verde; (b) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; (c) entre 0,85 e 1 para cana madura; e (d) maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (ROSSETO, 2012).

A colheita foi realizada em 25/08/2015, a produtividade de colmo (PC) e de ponteiro (PP) foi determinada através da pesagem total dos colmos e ponteiros presentes nas respectivas subparcelas, quantificado o peso dos colmos e ponteiros presentes em 2 m das duas linhas centrais, cujo valor foi extrapolado para $t\ ha^{-1}$. Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg. Foi determinado o número de perfilhos industrializáveis médio por metro linear através da contagem do número de plantas em 2 m das duas linhas centrais das parcelas.

Foram coletadas amostras de 10 colmos por tratamento, que foram submetidos para a determinação análise tecnológica no Laboratório agroindustrial da Usina Raízen, em Jatai - GO, para obtenção dos valores de açúcares totais recuperáveis (ATR), conforme normas do sistema Consecana (2006).

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$), e em casos de significância, foi realizada análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e épocas de avaliação e teste de média Tukey ($p < 0,05$) para o fator fonte de nitrogênio, utilizando o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano agrícola de 2014/15, a precipitação no local do experimento foi de 1701,40 mm, conforme demonstrado anteriormente na Figura 1, valor próximo do suficiente para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, que varia de 1500 a 2500 mm, conforme Doorenbos & Kassam (1979). Porém, o mesmo não ocorreu com regularidade durante toda a safra, esta precipitação predominou nos meses de 10/2014 a 06/2015, desta forma, os meses sucessores ao plantio 08/2014 a 10/2014 e no final da fase de

crescimento 06/2015 a 08/2015 a precipitação foi insuficiente, período que a cultura dependeu do volume total de água adicionado via irrigação, que foi de 650,0 mm, totalizando o volume de 2351,40 mm durante o ciclo de cultivo.

Na análise de variância, observa-se que a variável altura de planta (AP) foi significativa para o fator época, a variável diâmetro de colmo (DC) foi significativa para o fator dose e para o fator época isoladamente, a variável comprimento de entrenó (CE) foi significativa para o fator fonte e época isoladamente e a variável número de entrenó (NE) foi significativa para o fator época, evidenciando que a época de avaliação teve efeito durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo que, está resposta apresentou dependência do fator dose para DC, e do fator fonte para CE (Tabela 2).

Existem vários fatores para explicar as baixas respostas à N em cana-planta, como a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturais da cultura durante o revolvimento do solo na reforma do canavial (CANTARELLA et al., 2007). Outras justificativas para a baixa resposta da cana-planta a N incluem maior vigor do sistema radicular da cana-planta comparado ao da soqueira, a melhoria da fertilidade do solo associada à calagem e à adubação feitas na reforma do canavial, a fixação biológica de N, a menor demanda inicial por nutrientes da cana-planta, as perdas de N fertilizantes por lixiviação e a contribuição do N estocado no tolete do colmo-semente (VITTI et al., 2008; URQUIAGA et al., 2012).

Estudos recentes têm apresentado baixa resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada (OTTO et al., 2013; MARIANO, 2015), especialmente em áreas manejadas em rotação com leguminosas ou com utilização de resíduos orgânicos como vinhaça e torta de filtro. Em uma das áreas avaliadas por Otto et al. (2013), com histórico de aplicação de vinhaça, não houve resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada de soqueira em três anos consecutivos, indicando que possivelmente a mineralização da matéria orgânica do solo está suprindo a demanda de N pela cultura.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), comprimento de entrenó (CE) e número de entrenó (NE) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|----------------------|----|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| | | AP | DC | CE | NE |
| Fonte | 1 | 0,0565 ^{ns} | 8,3367 ^{ns} | 0,000108 ^{**} | 8,8634 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 0,0047 ^{ns} | 5,2900 ^{ns} | 0,000169 ^{**} | 1,2228 ^{ns} |
| Resíduo a | 2 | 0,0271 | 15,5497 | 0,000002 | 1,4313 |
| Dose | 3 | 0,3113 ^{ns} | 75,9032 ^{**} | 0,000045 ^{ns} | 5,0137 ^{ns} |
| Fonte x Dose | 3 | 0,1006 ^{ns} | 3,3873 ^{ns} | 0,000128 ^{ns} | 2,2967 ^{ns} |
| Resíduo b | 3 | 0,1006 | 3,3873 | 0,000128 | 2,2967 |
| Época | 3 | 1,6613 ^{**} | 43,1066 ^{**} | 0,001783 ^{**} | 246,6820 ^{**} |
| Fonte x Época | 3 | 0,0091 ^{ns} | 7,5686 ^{ns} | 0,000036 ^{ns} | 0,9520 ^{ns} |
| Dose x Época | 9 | 0,0086 ^{ns} | 6,2007 ^{ns} | 0,000070 ^{ns} | 1,3528 ^{ns} |
| Fonte x Dose x Época | 9 | 0,0082 ^{ns} | 4,7626 ^{ns} | 0,000038 ^{ns} | 2,1489 ^{ns} |
| Resíduo c | 57 | 0,0099 | 4,3032 | 0,000052 | 2,4101 |
| CV a (%) | | 8,18 | 12,17 | 1,13 | 6,91 |
| CV b (%) | | 15,76 | 5,68 | 9,60 | 8,75 |
| CV c (%) | | 4,95 | 6,40 | 6,13 | 8,96 |

^{ns} não significativo e ^{**} significativo a 1% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

Na AP em função dos DAP, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de 2,31 m aos 330 DAP, que corresponde a (25,97%) 0,60 m em relação aos 210 DAP (Figura 2A). Oliveira et al. (2010) nesta mesma fase de crescimento, trabalhando com variedades de maturação precoce RB872552 e RB863129 obtiveram, respectivamente, as maiores AP com valores de 3,10 e 2,91 m, estes resultados nos mostra um bom desenvolvimento de colmos apesar de ser comparado a outras variedades.

No DC em função dos DAP, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de 33,90 mm aos 330 DAP, que corresponde a (8,91%) 3,02 mm em relação aos 210 DAP (Figura 2B). Os resultados obtidos corroboram com Moura et al. (2005), que consideram adequados valores de DC acima de 22 mm para a cana-de-açúcar irrigada.

O aumento do diâmetro dos colmos em conformidade com as épocas de avaliação foi constatado também por outros autores, entretanto, seguido da redução desse parâmetro morfológico a partir dos 291 dias após o corte (OLIVEIRA et al., 2010; ARANTES, 2012; RHEIN, 2012), fato que destoou dos resultados encontrados, pois não se observaram decréscimos no diâmetro do colmo ao longo do tempo.

No CE em função dos DAP, observa-se que houve a redução linear mínima estimada de 0,0967 m aos 330 DAP, que corresponde a (19,88%) 0,024 m em relação aos 210 DAP (Figura 2C).

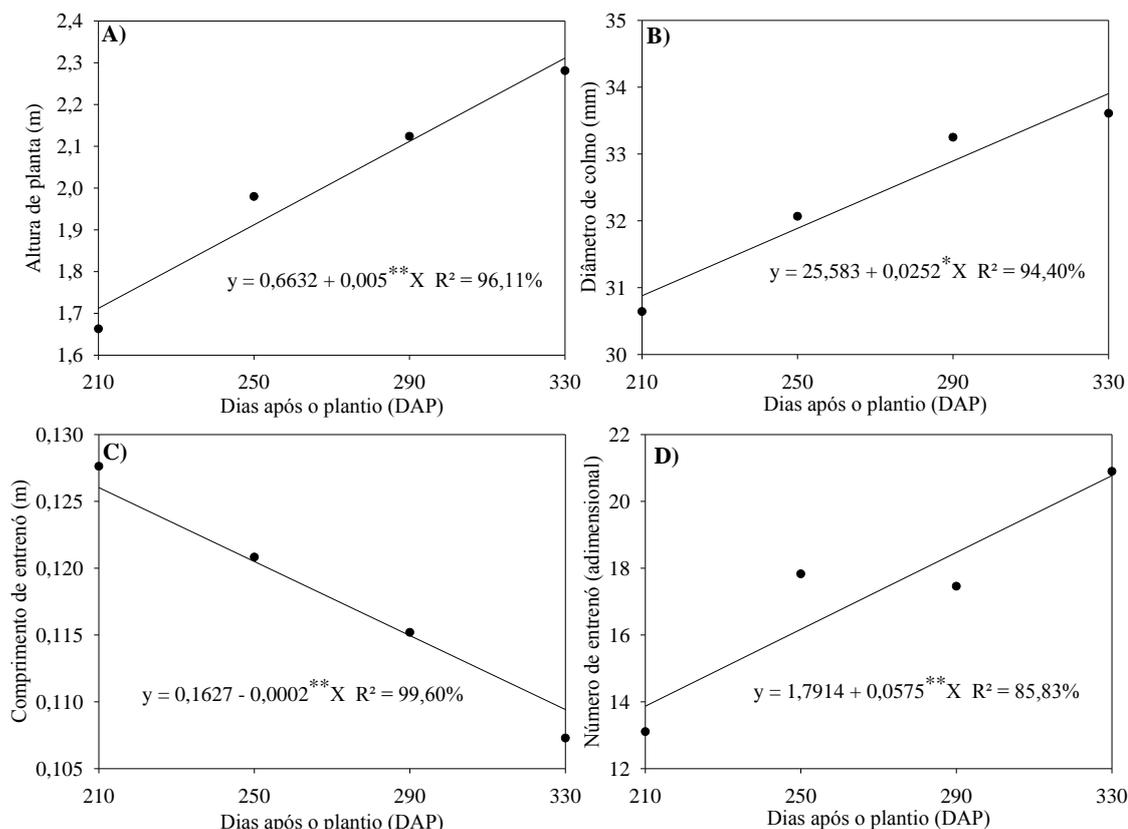
No NE em função dos DAP, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de 20,76 entrenós aos 330 DAP, que corresponde a (33,24%) 6,90 entrenós em relação aos 210 DAP (Figura 2D).

Resultados encontrados por Silva et al. (2014) em Rio Verde, GO, sob Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, o NE teve grande aumento inicial aos 210 DAP em virtude da fase da cana-de-açúcar, porém atingiram seus valores máximos entorno dos 270 aos 300 DAP. Para o diâmetro de colmo (DC), observou-se crescimento inicial elevado, prolongando-se até os 210 DAP. Foi constatado um incremento de 34% neste período, deparando-se a 32,6 mm aos 210 DAP. Entretanto, a máxima resposta de DC foi atingida aos 330 DAP, com a média de 37,9 mm.

Silva et al. (2008) consideram a AP e DC um dos componentes para a formação do potencial de produção da cana-de-açúcar, e acrescentam ainda que a irrigação capacita as variedades responsivas para melhor manifestarem seu potencial genético.

Para Diola & Santos (2010) a fase de crescimento dos colmos começa a partir de 120 DAP e dura até os 270 DAP, em um cultivo de 12 meses; esta é a fase mais importante do cultivo, pois é quando ocorre a formação do colmo, que resulta em produção; a irrigação, fertilização, calor, umidade e condições climáticas ideais, favorecem o alongamento; já a fase de maturação em cultivo de cana-planta se prolonga por aproximadamente dos 270 aos 360 dias após o plantio e a síntese e o acúmulo rápido de açúcar ocorrem durante esta fase, razão pela qual, o crescimento vegetativo é reduzido.

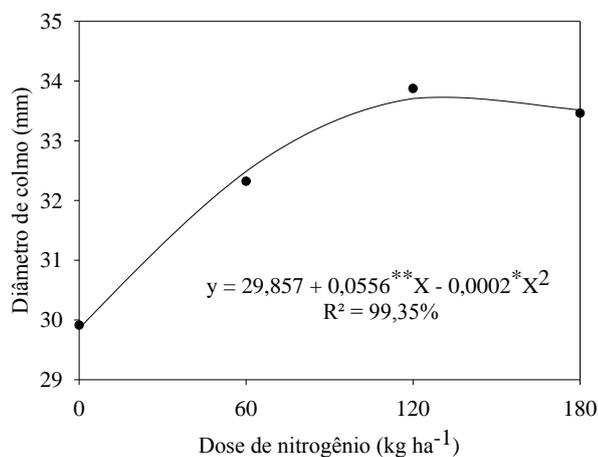
Resultados encontrados por Cunha et al. (2016) em Rio Verde, GO, sob Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, estudando efeito da fertirrigação nitrogenada, mostra promoção maior de crescimento vegetativo da cana-soca irrigada (RB85-5453), especialmente nos períodos de 270, 300 e 330 dias após o corte, corroborando com resultados encontrados neste estudo apesar de se tratar de cana-planta.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 2. Médias de altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), comprimento de entrenó (C) e número de entrenó (D) em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15.

No DC em função da dose, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 33,72 mm com $139,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, que corresponde a (11,45%) 3,86 mm (Figura 3). Uribe (2010) não observou aumento no diâmetro de colmo da cana-de-açúcar com a elevação da dose de N sob irrigação.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 3. Diâmetro de colmo em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15.

No teste de média para a variável CE em função da fonte de N, observa-se que a fonte nitrato de amônio obteve a maior média em relação a ureia, com uma diferença percentual de 1,77% (Tabela 3).

Tabela 3. Teste de média para a variável comprimento de entrenó (CE) em função da fonte de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de Nitrogênio | Comprimento de entrenó |
|---------------------|------------------------|
| | Médias (m) |
| Ureia | 0,1167 b |
| Nitrato de amônio | 0,1188 a |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise de variância, observa-se que as variáveis número de folha verde (NFV), número de folha total (NFT) e área foliar (AF) foram significativas para a interação entre dose e época (Tabela 4). A variável número de folha total (NFT) também foi significativa juntamente a número de folha morta (NFM) para a interação entre fonte e época (Tabela 4). Respostas significativas do N em cana-planta também tem sido confirmado em estudos realizados por vários autores (RESENDE et al., 2006; PRADO & PANCELLI, 2008).

SILVA et al. (2015) trabalhando com cana-de-açúcar irrigada em Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde, GO, encontraram efeito significativo para número de folhas e área foliar para nitrogênio e reposição hídrica em cana-planta.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis número de folha verde (NFV), número de folha morta (NFM), número de folha total (NFT) e área foliar (AF) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|----------------------|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| | | NFV | NFM | NFT | AF |
| Fonte | 1 | 0,5859 ^{ns} | 25,5234 ^{ns} | 33,8437 ^{ns} | 0,004134 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 1,4297 ^{ns} | 6,2812 ^{ns} | 2,1328 ^{ns} | 0,001264 ^{ns} |
| Resíduo a | 2 | 1,9297 | 14,6250 | 11,9609 | 0,038503 |
| Dose | 3 | 28,4123* | 69,1901* | 184,5312* | 0,618229* |
| Fonte x Dose | 3 | 2,0720 ^{ns} | 4,1345 ^{ns} | 11,9479 ^{ns} | 0,040912 ^{ns} |
| Resíduo b | 3 | 2,0720 | 4,1345 | 11,9479 | 0,040912 |
| Época | 3 | 98,8429** | 359,2804** | 782,0729** | 2,880607** |
| Fonte x Época | 3 | 0,9748 ^{ns} | 12,1137** | 19,2396** | 0,003273 ^{ns} |
| Dose x Época | 9 | 2,0003** | 3,9933 ^{ns} | 8,9734** | 0,076751** |
| Fonte x Dose x Época | 9 | 0,8776 ^{ns} | 1,0118 ^{ns} | 1,6400 ^{ns} | 0,015881 ^{ns} |
| Resíduo c | 57 | 0,7263 | 2,1453 | 2,0199 | 0,018010 |
| CV a (%) | | 12,65 | 31,91 | 15,06 | 22,93 |
| CV b (%) | | 13,10 | 16,97 | 15,05 | 23,64 |
| CV c (%) | | 7,76 | 12,22 | 6,19 | 15,68 |

^{ns} não significativo; ** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

No desdobramento do fator dose dentro de cada época para o NFV, observa-se que houve aumento linear estimado de 1,66 e 1,40 folhas com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 17,54 e 13,13%, respectivamente para 210 e 250 DAP. Já aos 290 e 330 DAP, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 13,90 e 13,81 folhas com 130,75 e 127,50 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 3,42 folhas (24,60%) e 3,25 folhas (23,53%) (Figura 4A).

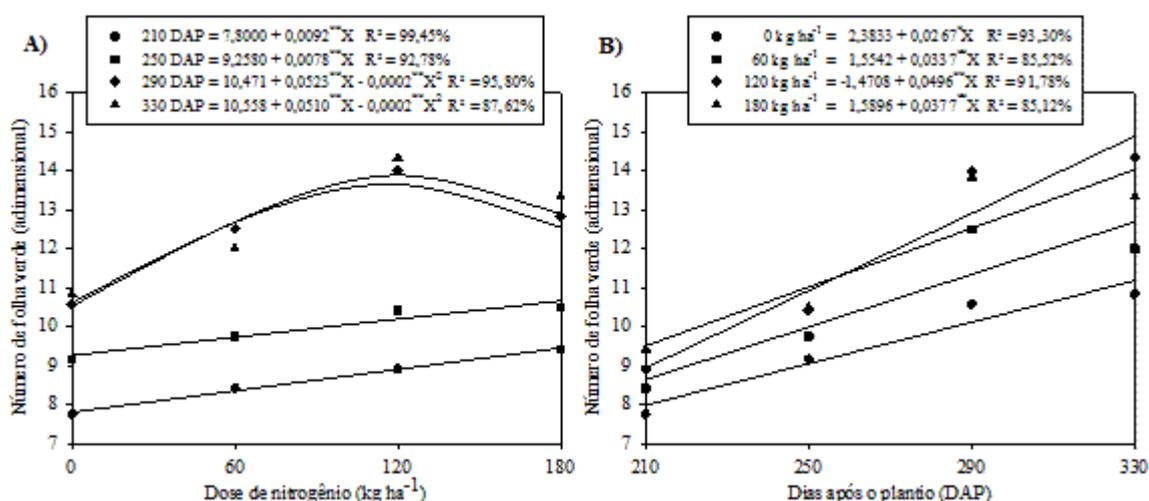
No desdobramento do fator época dentro de cada dose para o NFV, observa-se que houve aumento linear estimado de 3,20, 4,04, 5,95 e 4,52 folhas verdes aos 330 DAP, correspondente a 28,60, 36,33, 39,93 e 32,22%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 4B).

O NF encontrado neste trabalho está de acordo com previsto por Magro et al. (2011), que afirmam que a planta madura de cana-de-açúcar tem um número de folhas verdes por talo ao redor de dez, dependendo da variedade e condições de crescimento.

Para Pincelli (2010) a variável número de folha verde se caracteriza como importante, pois por intermédio desta pode se verificar a eficiência fotossintética da planta frente aos estresses propostos. Este mesmo autor observou, sob condições ideais de umidade no substrato houve aumento no número de folha verde em todas as cultivares, que foram maiores significativamente do que os valores sob restrição hídrica

aos 28 e 56 dias após tratamento (DAT). Para esta variável também foi possível identificar respostas diferenciais para cultivares sob deficiência hídrica, isto é, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram 5 e 7 folhas, respectivamente, aos 56 DAT, e as cultivares RB85-5453 e RB72454 ambas com 3 folhas sob o mesmo período.

Machado et al. (2009) observaram que dois genótipos avaliados apresentaram redução significativa na quantidade de folhas verdes, decorrente do déficit hídrico. Smit & Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva ao déficit hídrico e ocorre após a redução no surgimento de folhas.

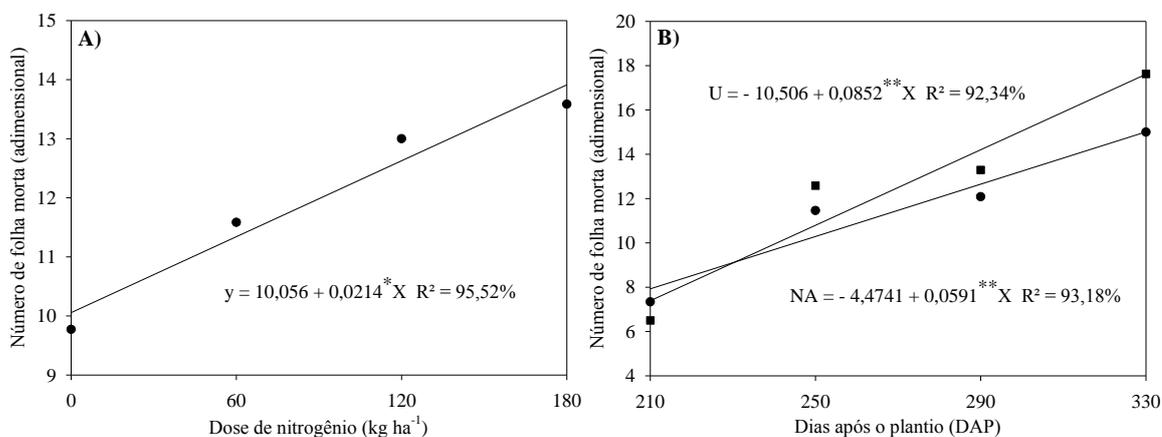


** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 4. Número de folha verde em função da dose de nitrogênio (A) e número de folha verde em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

No NFM em função da dose de N, observa-se que houve aumento linear estimado de 3,85 folhas mortas com 180 kg ha^{-1} de N, correspondente a 27,68% (Figura 5A). No desdobramento do fator fonte dentro de cada época para o NFM, observa-se que houve aumento linear estimado de 7,09 e 10,22 folhas mortas aos 330 DAP, correspondente a 47,21 e 58,03%, respectivamente para nitrato de amônio e ureia (Figura 5B). A morte de folhas é um processo natural de senescência das plantas (DIOLA & SANTOS, 2010; MARAFON, 2012), ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de senescência foliar e maturação dos colmos, com menor interceptação da energia luminosa, decréscimo no acúmulo de matéria seca e translocação de açúcares para os órgãos de armazenamento. Porém, esse processo pode ser acelerado em função da redução de FV relatada quanto a plantas com déficit hídrico (PIMENTEL, 2004) e atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER et al., 2008). Se a

senescência foliar e a paralisação do surgimento de folhas forem respostas ao déficit hídrico dependentes do genótipo (SMIT & SINGELS, 2006), o número de folha verde pode ser usado como indicador do efeito do déficit hídrico em cana-de-açúcar, conforme sugere Inman-Bamber (2004). Outro fator que pode contribuir para o aumento do NFM é a deficiência de nitrogênio que pode reduzir a capacidade fotossintética (MEINZER & ZHU 1998).



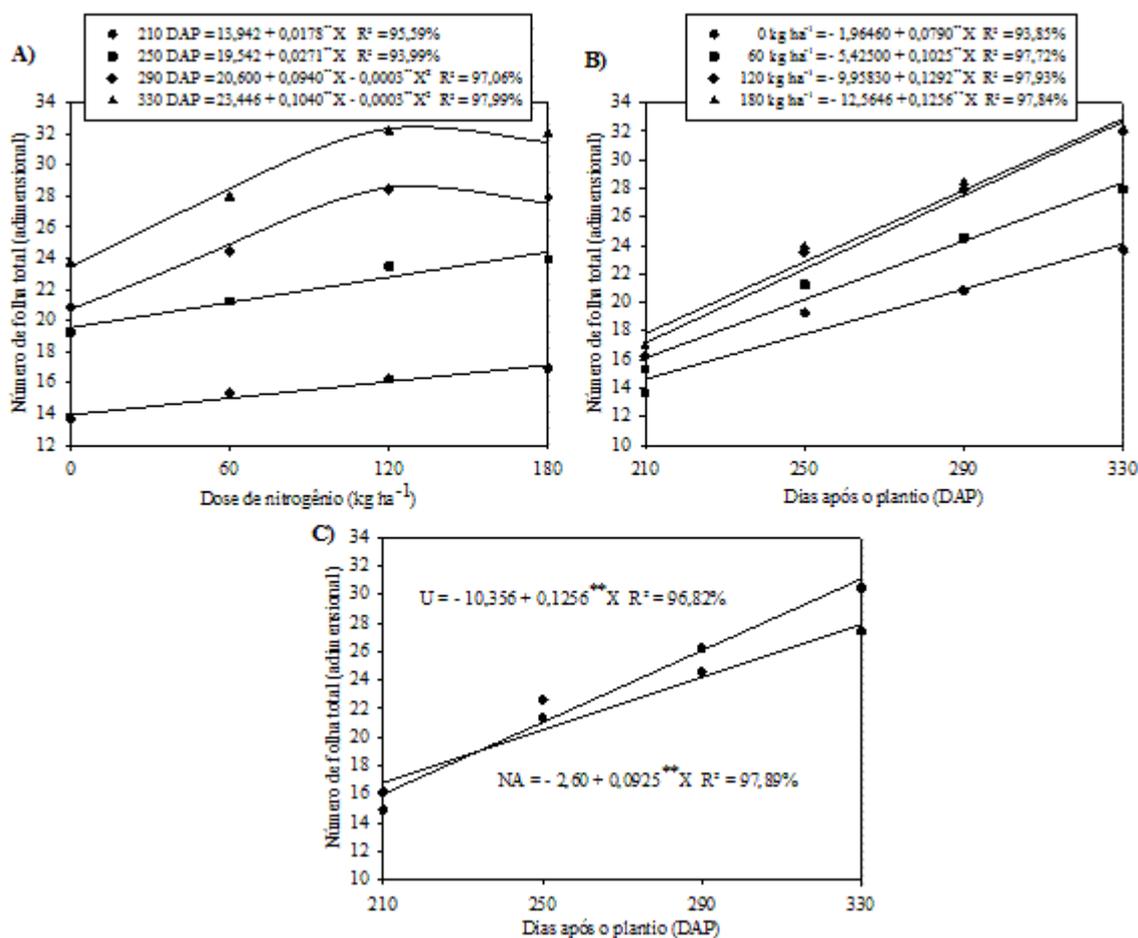
** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Número de folha morta em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator dose dentro de cada época para o NFT, observa-se que houve aumento linear estimado de 3,20 e 4,88 folhas com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 18,66 e 19,98%, respectivamente para 210 e 250 DAP. Já aos 290 e 330 DAP, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 27,96 e 32,46 folhas com 156,66 e 173,33 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 7,36 folhas (26,32%) e 9,01 folhas (27,76%) (Figura 6A).

No desdobramento do fator época dentro de cada dose para o NFT, observa-se que houve aumento linear estimado de 9,48, 12,3, 15,50 e 15,07 folhas aos 330 DAP, correspondente a 39,34, 43,30, 47,43 e 45,83%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 6B).

No desdobramento do fator fonte dentro de cada época para o NFT, observa-se que houve aumento linear estimado de 11,11 e 15,07 folhas aos 330 DAP, correspondente a 39,78 e 48,46%, respectivamente para nitrato de amônio e ureia (Figura 6C).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 6. Número de folha total em função da dose de nitrogênio (A), em função da época de avaliação (B) e em função da fonte de adubação nitrogenada (C), Jataí – GO, safra 2014/15.

No teste de média para desdobramento da fonte dentro de cada época, a variável NFM em função da fonte de N, observa-se que a fonte ureia obteve as maiores médias em relação a nitrato de amônio, com uma diferença percentual de 9,10 e 14,87% respectivamente aos 290 e 330 DAP (Tabela 5).

No teste de média para desdobramento da fonte dentro de cada época, a variável NFT em função da fonte de N, observa-se que a fonte ureia obteve as maiores médias em relação a nitrato de amônio, com uma diferença percentual de 7,73, 5,70, 6,36 e 9,98% respectivamente aos 210, 250, 290 e 330 DAP (Tabela 5).

Tabela 5. Teste de média para a variável número de folha morta (NFM) e número de folhas total (NFT) em função da fonte de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de Nitrogênio | Número de folha morta (NFM) | | | |
|---------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | 210DAP | 250DAP | 290 DAP | 330DAP |
| | adimensional | | | |
| Ureia | 6,50 | 12,58 | 13,29 a | 17,62 a |
| Nitrato de amônio | 7,33 | 11,46 | 12,08 b | 15,00 b |
| | Número de folha total (NFT) | | | |
| | adimensional | | | |
| Ureia | 16,17 a | 22,62 a | 26,25 a | 30,46 a |
| Nitrato de amônio | 14,92 b | 21,33 b | 24,58 b | 27,42 b |

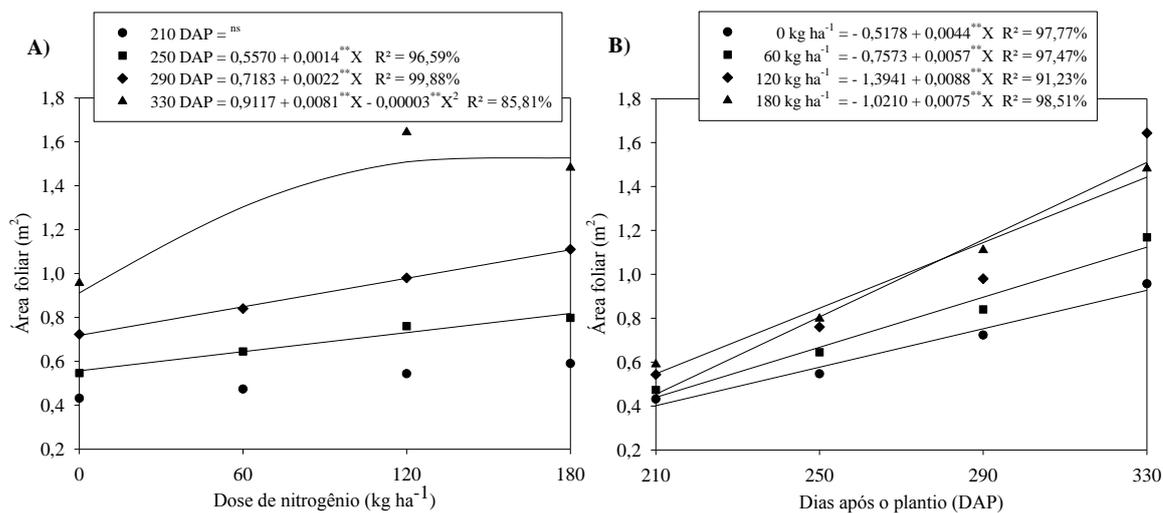
Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator dose dentro de cada época para a AF, observa-se que houve aumento linear estimado de 0,252 e 0,396 m² com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 31,15 e 35,54%, respectivamente para 250 e 290 DAP. Já aos 330 DAP, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 1,46 m² com 135,0 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 0,547 m² (37,48%) (Figura 7A).

No desdobramento do fator época dentro de cada dose para a AF, observa-se que houve aumento linear estimado de 0,528, 0,684, 1,056, 0,900 m² aos 330 DAP, correspondente a 56,53, 60,87, 69,95 e 61,90%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 7B). Resultados encontrados por Silva et al. (2014) mostram maior aumento da AF entre os 240 e 300 DAP, e houve ainda crescimento exponencial em função dos DAP para a cana-de-açúcar irrigada.

Resultados encontrados por Pincelli (2010) indicaram redução da área foliar sob deficiência hídrica em todas as cultivares, entretanto, as cultivares SP81-3250 e SP83-2847 apresentaram maior área foliar sob falta de água que as cultivares RB85-5453 e RB72454 ao final do período de avaliação, porém este período durou apenas 56 DAT.

Para Oliveira et al. (2007) o estudo da área foliar em cultivares na cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. O desenvolvimento da área foliar é crítico para o estabelecimento da cultura e o fechamento do dossel e maximização da interceptação da radiação em busca da produtividade da cultura (SINCLAIR et al., 2004). Estudos mostraram que a área foliar da cana-de-açúcar aumenta no período de grande crescimento da cultura (TEIXEIRA et al., 2012).



^{ns} não significativo e ^{**} significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 7. Área foliar em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

Na análise de variância, observa-se que a variável número perfilhos industrializáveis (NPI) não foi significativa, já a produtividade de colmo (PC), produtividade de ponteiro (PP) e açúcares totais recuperáveis (ATR) foram significativas para o fator dose de nitrogênio (Tabela 6).

Roy et al. (2006) e Franco et al. (2010), avaliando a produtividade da cana-planta em relação a adubação nitrogenada, verificaram que houve incremento de produtividade, e ainda acrescentam que as altas produtividades estão frequentemente associadas às altas doses de N.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis número de perfilhos industrializáveis (NPI), produtividade de ponteiro (PP), produtividade de colmo (PC) e açúcares totais recuperáveis (ATR) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

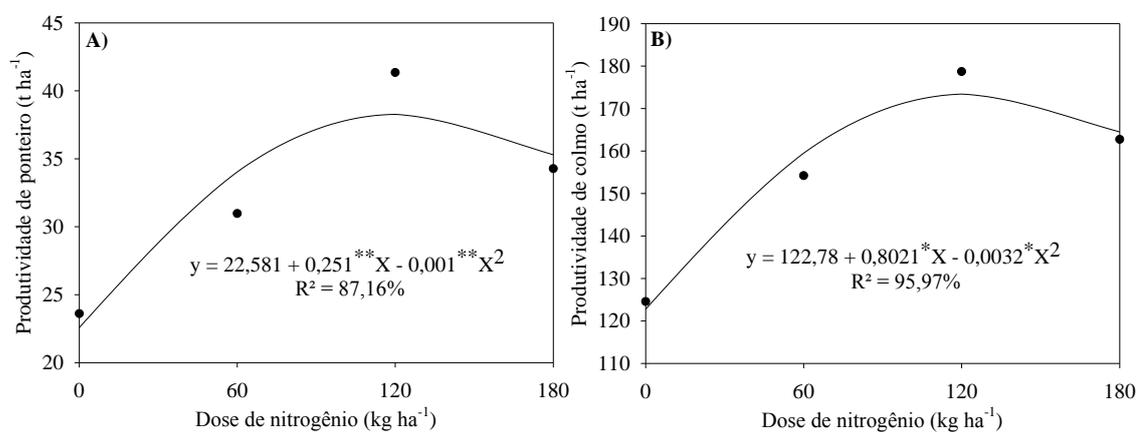
| Fonte de variação | Quadrados médios | | | | |
|-------------------|------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | GL | NPI | PP | PC | ATR |
| Fonte | 1 | 2,3437 ^{ns} | 1,4801 ^{ns} | 1217,9475 ^{ns} | 15,8275 ^{ns} |
| Dose | 3 | 1,7569 ^{ns} | 325,4982 ^{**} | 3099,7914 [*] | 113,5905 ^{**} |
| Fonte x Dose | 3 | 2,4340 ^{ns} | 29,5926 ^{ns} | 728,0347 ^{ns} | 22,6119 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 5,4088 ^{ns} | 7,5334 ^{ns} | 2850,1014 ^{ns} | 15,7111 ^{ns} |
| Resíduo | 14 | 3,2570 | 20,4186 | 733,7945 | 18,4174 |
| CV (%) | | 10,72 | 13,88 | 17,47 | 3,21 |

^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

Na PP em função da dose, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 38,33 t ha⁻¹ com 125,50 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 15,75 t ha⁻¹ (41,09%) (Figura 8A).

Na PC em função da dose, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 173,04 t ha⁻¹ com 125,33 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 50,26 t ha⁻¹ (29,04%) (Figura 8B).

Em pesquisas mais recentes tem-se encontrado respostas da produtividade em função da adubação nitrogenada, Fortes et al. (2013) encontraram em um Latossolo Vermelho distrófico respostas lineares de produtividade de colmos para doses de N-NH₄NO₃ (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N). Em outros estudos, com diferentes condições, em solo arenoso (Flórida, EUA), McCray et al. (2014) encontraram respostas quadráticas para doses de ureia superiores à recomendação atual N (202 kg N ha⁻¹). Esses autores acrescentam que o efeito da resposta de N na produtividade de colmos pode ser explicado fisiologicamente pelas mudanças no crescimento da planta, número de perfilhos, na produção de biomassa e, conseqüentemente afetando a quantidade de açúcar armazenado. Bologna-Campbell (2007) e Franco et al. (2010) remetem a resposta da cana-planta a adubação nitrogenada a diversos fatores como o tipo de preparo do solo, ao estoque de N na MO, a textura do solo e também ao histórico de rotação com adubos verdes.

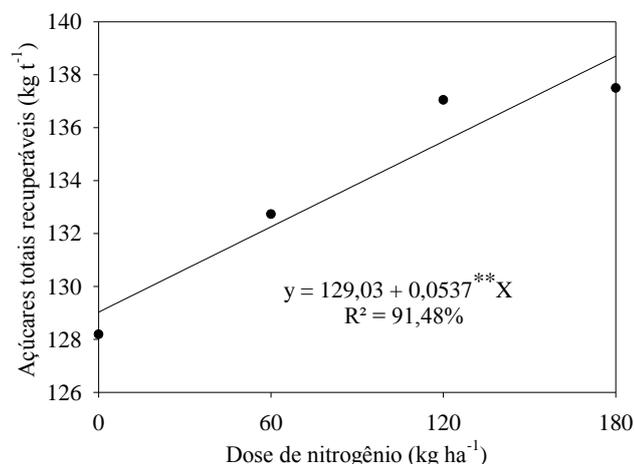


** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 8. Produtividade de ponteiro (A) e produtividade de colmo (B) em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15.

Os ATR em função da dose de N, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de 138,69 kg t⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de (7,49%) 9,66 kg t⁻¹ (Figura 9). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por

Sánchez-Román et al. (2015), em ambiente de cerrado, observaram aumento de ATR em função da adubação nitrogenada nos tratamentos irrigados, correspondentes a 5,11%.



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 9. Açúcares totais recuperáveis em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15.

Levando em consideração ambientes irrigados, no Brasil, trabalhos realizados por Teodoro (2011) em Rio Largo - AL, e por Kölln (2012) em Jaú - SP, comprovaram as respostas positivas da cana-de-açúcar à aplicação de N em ambientes de manejo irrigado. Os resultados obtidos nessas pesquisas contrastam com as curvas de resposta a N obtidas em estudos recentes com cana-de-açúcar em condições de sequeiro, nos quais as produções máximas foram atingidas com doses de 100 a 120 kg ha⁻¹ de N (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010). Esse fato indica que as recomendações de adubação nitrogenada devem ser maiores para os ambientes que apresentam baixa restrição hídrica (ambientes irrigados), comparados aos ambientes de sequeiro, pois os potenciais de produtividade da cultura são maiores (GAVA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; ANDRADE JÚNIOR et al., 2012).

4.4 CONCLUSÕES

Os aumentos observados nas variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de entrenó e número de entrenó na época avaliada foi respectivamente de 25,97, 8,91, 19,88 e 33,24%.

A escolha da fonte de nitrogênio interfere no número de folha morta e número de folha total, sendo que o uso da ureia proporciona o maior número de folhas. O nitrato

de amônio contribui independente da dose ou época para menor redução do comprimento de entrenó.

O aumento da dose de adubação nitrogenada aumenta o número de folha verde, número de folha morta e área foliar linearmente até os 250 DAP. Aos 290 e 330 DAP o aumento máximo é observado na dose média de 144,65 kg ha⁻¹ de N.

A maior produtividade de colmo, produtividade de ponteiro e quantidade de açúcares totais recuperáveis ocorreu na dose média de 143,61 kg ha⁻¹ de N, com aumento médio de 25,87%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); a Usina Raízen unidade Jataí, GO e ao IF Goiano – Campus Rio Verde, GO, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 81:650-662, 1989.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO, D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.76-84, 2012.
- ARANTES, M. T. Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro. 65f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2012.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p. BLACKMAN, V. H. The compound interest law and plant growth. *Annals of Botany*, London, v. 33, p. 353-60, 1919
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta, 2007. 112 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 349–412.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.9, p.841-846, 2016.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. DE; AZEVEDO, H. M. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 283-288, 2006.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectivas**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2010. p. 25 – 49.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas Estudos de FAO: Irrigação e Drenagem, 33, Campina Grande: UFPB, 306p, 1994.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 400p.
- FARIAS, C. H. A. DE; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M. DE; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p.356-362, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.1, p.88-96, 2013.

- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.
- FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.121, p.29-41, 2011.
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.
- GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.
- HERMANN, E.R. & G.M.S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, 17: 32-34, 1999.
- HOLST, J.; BRACKINA, R.; ROBINSONA, N.; LAKSHMANANB, P.; SCHMIDTA, S. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugarcane cultivation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 155, p. 16–26, 2012.
- INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops research**. Australia, v. 89, p. 107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.
- KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ¹³C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; CARDOSO, K. Aplicação do silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p.8-11.

- LELIS NETO, J. A. **Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônico e atributos físicos e químicos de um Nitossolo**. 138p. 2012. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.
- MAGRO, F. J. TAKAO, CAMARGO, G. P. E. TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Produção de Cana-de-Açúcar. 2011, 18p.
- MARIANO, E.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.X.V.; TORRES-DORANTE, L.; TRIVELIN, P.C.O. Influence of nitrogen form supply on soil mineral nitrogen dynamics, nitrogen uptake, and productivity of sugarcane. **Agronomy Journal**, Madson, v. 107, p.641-650, 2015.
- MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 87p. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.
- MCCRAY, J.M.; MORGAN, K.T.; BAUCUM, L.; JI, S. Sugarcane yield response to nitrogen on sand soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 1461-1469, 2014.
- MEINZER, F.C. & J. ZHU. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, 49: 1227-1234, 1998.
- MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. M. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.
- OLIVEIRA, E. C. A. DE; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. DE; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. DA; CARVALHO, L. A. DE. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.
- OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P; R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em

variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 951–960, 2010.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, A.C.; SIMÕES NETO, D.E.; ROCHA, A.T.; CARVALHO, L.A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHOS, J. C. ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesq. Agropec. Trop.** v.37, n.2, p.71-76, jun. 2007.

OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MEGGUER; C. A. Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n.11, p.993-1000, 2014.

OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 1, p. 1-12, 2013.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 65 f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**, The Hague, v. 333, p. 71-80, 2010.

PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.951-959, 2008.

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.937-941, 2006.

- RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 281, p. 339-351, 2006.
- RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. (Tese) Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu-SP. Dezembro, 2012, 117p.
- ROSSETTO, R. Maturação da cana-de-açúcar. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A.C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. In: INTERNATIONAL SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 2010, 27., Vera Cruz. **Proceedings...** Vera Cruz: ISSCT, 2010. p.1-8.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P.R.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural ¹³C and ¹⁵N abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, p. 36-44, 2013.
- ROY, R.N; FINCK, A.; BLAIR, G.J.; TANDON, H.L.S. **Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 249 p. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 16).
- SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SILVA, N. F. DA; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 198-210, 2015.
- SILVA, C. T. S. DA; AZEVEDO, H. M. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M. DE; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 3-12, 2009.

- SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v.65, p.620-627, 2008.
- SILVA, M. DE A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, p.656-661, 2008.
- SILVA, N. F. **Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial**. 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2014.
- SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; MOURA, L. M. F.; MOURA, L. C.; TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v.8, nº.1, p. 1 - 11, 2014. DOI: 10.7127/rbai.v8n100188
- SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MOURA, L. C. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, nº.2, p. 79 - 90, 2015.
- SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A. ; PERDOMO, R. E. ; SHINE, J. R. ; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 2-3, p. 171-178, 2004.
- SINGH, S.N.; SINGH, A.K.; MALIK, J.P.S.; KUMAR, R.; SUNDERPAL; SHARMA, M.L. Cultura-practice packages and trash management effects on sugarcane ratoons under sub-tropical climatic conditions of India. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 150, p. 237-247, 2012.
- SMIT, M. A. & SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.
- TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2011. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.
- TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FORTES, C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, E. Impact of

sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 345-352, 2013.

URIBE, R. A M. **Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante**. 2010. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2010.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R.P.; MORAIS, R.F.; BAPTISTA, R.B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J.M.; MAIA e SÁ, J.; BARBOSA, K.P.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Evidence from field nitrogen balance and ¹⁵N natural abundance data for the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, Crawley, v.356, p. 5-21, 2012.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. 882p.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665-671, 2008.

CAPÍTULO II

ACÚMULO DE BIOMASSA E RENDIMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA SUBMETIDA A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO: A partir da hipótese de que a fonte e a disponibilidade de nitrogênio influenciam o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cana-de-açúcar irrigada na região do cerrado, objetivou-se com este estudo avaliar o acúmulo de biomassa e rendimento para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada na cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Raízen, localizada no município de Jataí – GO. Utilizou-se a variedade IACSP95-5000, em um delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os fatores avaliados nas parcelas constituíram de quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); nas subparcelas duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as 2,0 linhas centrais. A irrigação foi por aspersão, realizada por um pivô central. Foram avaliadas as variáveis: matéria seca de folha verde, matéria seca de folha morta, matéria seca de ponteiro, matéria seca de colmo e matéria seca total de parte aérea. No final da colheita, foi determinado o rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ($p < 0,05$), análise de regressão para doses de N e épocas de avaliação e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para fontes de N. O maior rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool ocorreu na dose média de 131,72 kg ha⁻¹ de N, apresenta aumento médio de 32,19%.

Palavras chave: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, adubação nitrogenada, cerrado, Goiás.

ACCUMULATION OF BIOMASS AND INDUSTRIAL YIELD OF IRRIGATED SUGARCANE SUBMITTED TO SOURCES AND DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT: Based on the hypothesis that the source and the availability of nitrogen influence the growth, development and yield of irrigated sugarcane in the cerrado region, this study aimed to evaluate the accumulation of biomass and yield to define the best source and dose of nitrogen fertilization in irrigated sugarcane in the cane-plant cycle in a very clayey dystrophic Red Latosol, cerrado phase. The experiment was conducted at the Raízen Mill, located in the municipality of Jataí - GO. The variety IACSP95-5000 was used in a randomized block experimental design, analyzed in a split-split-plot scheme of four replications. The factors evaluated were in the plots of four doses of N (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹); In the split-plot two sources of N (urea and ammonium nitrate) and as split-split-plot were represented by four evaluation periods (DAP, 210, 250, 290 and 330 days after the planting - DAP). The plots contained 6.0 rows of 5.0 m, whose useful area was the 2.0 central rows. The irrigation was by sprinkling, performed by a central pivot. The evaluated variables were: dry matter of green leaf, dry matter of stalk, total dry matter of aerial part, gross sugar yield and gross alcohol yield. The results were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), regression analysis for N rates and epochs and means by Tukey test ($p < 0.05$) for N sources. The highest gross sugar yield and gross alcohol yield in the average source of 131.72 kg ha⁻¹ of N had an average increase of 32.19%.

Keywords: *Saccharum* spp., IACSP95-5000, nitrogen fertilization, cerrado, Goiás.

5.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola historicamente importante e estratégica para o Brasil, apresenta uma cadeia produtiva cada vez mais diversificada e flexível e contribui diretamente para tornar a matriz energética brasileira mais limpa e renovável. No entanto, para que haja uma produção de etanol que supra as necessidades do nosso país, e ainda, possa exportar esse combustível, tem-se a necessidade de grandes áreas plantadas com a cultura. Devido a isso os produtores de cana-de-açúcar e as agroindústrias do setor sucroalcooleiro têm investido bastante em tecnologias para

aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade industrial da matéria-prima (DANTAS NETO et al., 2006), tais práticas a serem adotadas, para que isso ocorra pode-se citar a irrigação e adubação (LELIS NETO, 2012). O incremento na produtividade da cana-de-açúcar com o uso da irrigação é bastante conhecido (WIEDENFELD & ENCISO, 2008; GAVA et al., 2011). No entanto, o aprimoramento das técnicas de manejo torna-se necessário para atingir a máxima eficiência no uso da adubação, visando máxima produtividade, especialmente se tratando da adubação nitrogenada.

A expressão de caracteres produtivos e de crescimento é muito influenciada pelo potencial de adaptação das variedades ao clima, principalmente à temperatura e ao regime de chuvas, e também às práticas culturais utilizadas (LIMA & ALVES, 2008). Entre os fatores ambientais que mais influenciam na conversão de energia em açúcar na cultura da cana-de-açúcar pode-se citar: a energia solar (intensidade, duração e qualidade); a concentração de CO₂; a temperatura; a disponibilidade de água e de nutrientes entre os quais o nitrogênio, que possui grande importância por ser constituinte de proteínas, entre outras biomoléculas (GAVA et al., 2010). Para Donaldson et al. (2008) e Van Heerden et al. (2010) quando ocorre adequada disponibilidade de água, radiação solar e altas temperaturas, o fornecimento de nutrientes torna-se o principal fator limitante e pode afetar o aumento do acúmulo de biomassa.

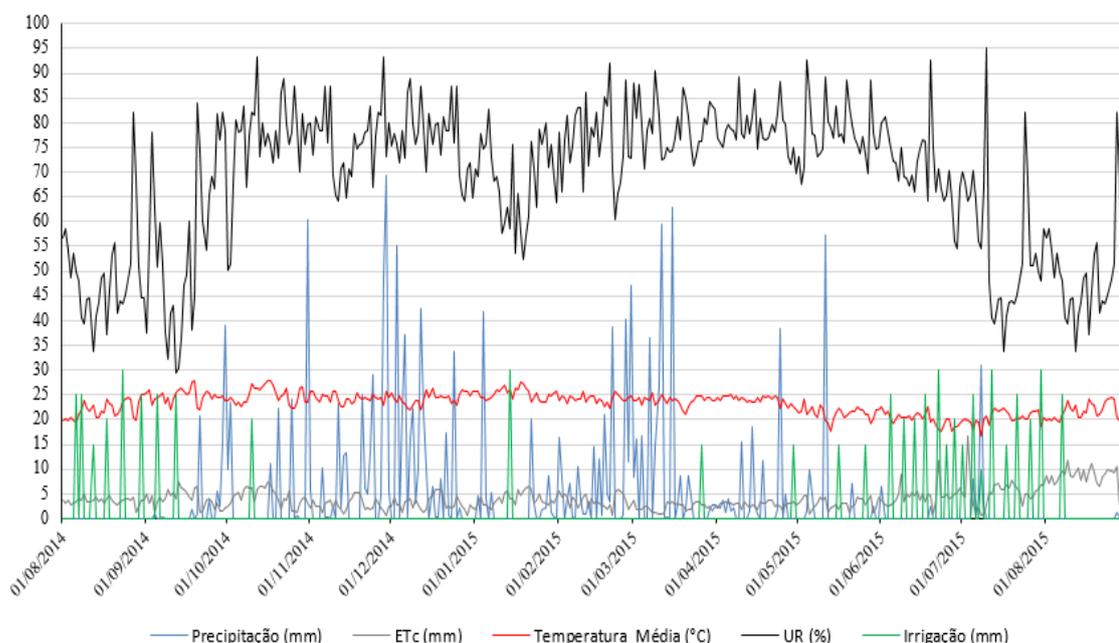
Dos elementos que circulam no sistema solo-planta-atmosfera, o que sofre maior número de transformações bioquímicas no solo é o nitrogênio, um dos elementos que mais limitam o crescimento vegetal (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Entre os elementos minerais, o N é essencial para a vida das plantas por fazer parte da composição da maioria dos compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila (MALAVOLTA, 2006). Com isso, o nitrogênio é considerado o macronutriente mineral mais importante na composição química das plantas (RAIJ, 1991). Além disso, participa das principais reações bioquímicas, do metabolismo vegetal e tem importante participação nos ciclos biogeoquímicos, que são controlados por fatores físicos, químicos, e biológicos e afetado por condições climáticas de difícil previsão e controle. A redução de nitrato a amônio e a incorporação destes, nas plantas são responsáveis por um quarto do gasto energético dos vegetais (EPSTEIN & BLOOM, 2005).

A adubação nitrogenada na cultura de cana-de-açúcar possui diferentes doses e formas de aplicação dependente da idade da cultura, época de plantio e corte, ambiente de produção e utilização de irrigação. Como em outras culturas a expectativa de colheita reflete a quantidade do fertilizante a ser aplicado, a dose e a forma (SCHULTZ et al., 2015). Segundo Vitti et al. (2008), os avanços nas pesquisas com melhoramento genético e a criação de materiais mais produtivos, provavelmente estejam conduzindo a uma subestimativa o potencial de resposta econômica ao N na cana-de-açúcar.

Nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, por restrições hídricas e pela disponibilidade de nutrientes nos solos. Neste contexto, torna-se a necessário a reavaliação das exigências nutricionais da cana-de-açúcar plantada na atualidade, assim como de doses de nutrientes nas adubações de cana-planta. Dessa forma, partindo da hipótese de que a fonte e a disponibilidade de nitrogênio influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar irrigada na região do Cerrado, objetivou-se com este estudo avaliar o acúmulo de biomassa e rendimento para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada na cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase Cerrado.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da fazenda Rio Paraíso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são 17°44'2.62"S e 51°39'6.06"O, com altitude média de 907 metros. Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35° a 37°C, e a mínima de 12° a 15 °C (no inverno há ocorrências de até 5°C). A precipitação anual chega a 1.800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

Figura 1. Balanço hídrico diário no período decorrente do experimento, Jataí – GO, safra 2014/15

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso (EMBRAPA, 2013). Área de renovação do canal de 7 anos de cultivo. As características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural das amostras coletadas antes da instalação do experimento, são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15

| Camada m | pH CaCl ₂ | M.O. g dm ⁻³ | P _{Resina} ---mg dm ⁻³ --- | S | K | Ca | Mg | Al |
|-------------|--|----------------------------|---|------------------------|---|------------------|-----|-----|
| | | | | | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 5,9 | 72 | 45 | 13 | 9,9 | 53 | 22 | <1 |
| 0,10-0,20 | 5,6 | 46 | 13 | 26 | 12,1 | 31 | 12 | <1 |
| 0,20-0,40 | 5,2 | 41 | 8 | 91 | 8,9 | 15 | 6 | <1 |
| Camada m | H+Al mmol _c dm ⁻³ | CTC | V % | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| | | | | | -----mg dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 22 | 106,9 | 79 | 0,28 | 1,2 | 39 | 3,4 | 2,1 |
| 0,10-0,20 | 28 | 83,1 | 66 | 0,17 | 1,6 | 36 | 1,6 | 1,0 |
| 0,20-0,40 | 21 | 60,9 | 49 | 0,12 | 1,4 | 25 | 0,7 | 0,3 |
| Camada m | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | Classificação textural | θ _{CC} | θ _{PMP} | | |
| | Areia | Silte | Argila | | cm ³ . cm ⁻³ | | | |
| 0-0,10 | 96 | 82 | 822 | Muito argiloso | 46,3 | 22,6 | | |
| 0,10-0,20 | 97 | 82 | 822 | Muito argiloso | | | | |
| 0,20-0,40 | 85 | 71 | 845 | Muito argiloso | 45,8 | 22,6 | | |

Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais (IAC, 2001). M.O - Matéria Orgânica; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação da CTC por bases; θ_{CC} – Conteúdo de água na capacidade de campo; θ_{PMP} – Conteúdo de água no ponto de murcha permanente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os fatores avaliados nas parcelas constituíram de quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); nas subparcelas duas fontes de N (ureia e nitrato de amônio) e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). A equipe técnica da usina participou da discussão para escolha das doses e fontes de nitrogênio.

A adubação nitrogenada foi realizada de acordo com os tratamentos, aos 60 dias após o plantio, aplicada a lanço, do lado da linha (0,20 m), contrário ao sentido da declividade do terreno. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo (100 kg ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo (P₂O₅), potássio (80 kg ha⁻¹) na forma de cloreto de potássio (K₂O), e micronutrientes, conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa & Lobato (2004).

A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta, plantada em 05/08/2014.

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio. O plantio foi mecanizado, conforme a experiência da usina o número de gemas por metro, conforme as recomendações para a respectiva variedade.

Os tratamentos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação e de acordo com a experiência da Usina Raízen.

A irrigação foi realizada por um Pivô central marca ZIMMATIC, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com uma área total irrigada de 139,31 ha, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples IMBIL modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

O monitoramento da lâmina de irrigação foi realizado de acordo com a experiência da Usina Raízen. Durante o ciclo da cultura, diariamente foram coletados os dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima

e mínima (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (kJ m^2) e precipitação diária (mm), obtidos através de estação meteorológica.

A partir da coleta destes dados, foram gerados o balanço hídrico e o balanço de água no solo com o auxílio de um software de gerenciamento de irrigação (IRRIGER®). No software, o monitoramento climático é utilizado para estimar o consumo hídrico diário da cana-de-açúcar, gerando o balanço hídrico diário e calculando a lâmina de irrigação a ser aplicada, permitindo o controle do momento adequado para irrigar. O software utiliza o método de Penman-Monteith (Padrão FAO, 1991), adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Nas linhas centrais das subparcelas foram coletadas dois perfilhos, a seguir foram separadas as diferentes partes constituintes denominadas de folha verde (FV), folha morta (FM), colmo (C) e ponteiro (PT), foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até massa constante, e determinada a massa de matéria seca de cada parte da planta para determinação das variáveis matéria seca de folha verde (MSFV), matéria seca de folha morta (MSFM), matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca de ponteiro (MSPT). A soma dos valores correspondentes à biomassa de cada componente estrutural das plantas ($\text{MSFV} + \text{MSFM} + \text{MSC} + \text{MSPT}$) possibilitou a determinação da matéria seca total da parte aérea (MSTPA), conforme Marafon (2012):

$$\text{MSTPA} = \text{MSFV} + \text{MSFM} + \text{MSC} + \text{MSPT} \quad (1)$$

em que:

MSTPA – matéria seca total da parte aérea (g planta^{-1});

MSFV – matéria seca de folha verde (g planta^{-1});

MSFM – matéria seca de folha morta (g planta^{-1});

MSC – matéria seca de colmo (g planta^{-1});

MSPT – matéria seca de ponteiro (g planta^{-1}).

Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas 4 últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana-de-açúcar, utilizou-se o parâmetro conhecido como Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando-se um refratômetro portátil. Os valores de IM são: (a) menor que 0,60 para cana verde; (b) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; (c) entre 0,85 e 1 para cana madura; e (d) maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (ROSSETO, 2012).

A colheita foi realizada em 25/08/2015, a produtividade de colmo (PC) foi determinada através da pesagem total dos colmos presentes nas respectivas subparcelas, quantificado o peso dos colmos em 2 m das duas linhas centrais, cujo valor foi extrapolado para t ha⁻¹. Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg.

Foram coletadas amostras de 10 colmos por tratamento, que foram submetidos para a determinação análise tecnológica no Laboratório agroindustrial da Usina Raízen, em Jatai - GO, para obtenção dos valores da quantidade de açúcar bruto em % contido nos colmos (PCC) e açúcares redutores livres (ARL), conforme sistema Consecana (2006). Para determinação da qualidade dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, as amostras foram desintegradas ou trituradas e homogeneizadas. Em seguida, foram retirados 500 gramas de amostra e prensadas em uma prensa hidráulica por um minuto a 250 Kgf cm⁻², resultando em duas frações: o caldo e o bagaço úmido (bolo úmido).

Os rendimentos brutos de açúcar e de álcool foram calculados utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado na análise tecnológica de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998):

$$RBA\check{C} = \left(\frac{PCC.PC}{100} \right) \quad (2)$$

em que:

RBA \check{C} - rendimento em açúcar em kg ha⁻¹;

PCC - quantidade de açúcar bruto em % contido nos colmos e determinada em laboratório;

PC - produção de colmos em kg ha⁻¹.

$$RBAL = ((PCC.F) + ARL).Fg.10.PC \quad (3)$$

em que:

RBAL - rendimento de álcool bruto em litro por tonelada de cana;

PCC - quantidade de açúcar bruto em % contido nos colmos e determinada em laboratório;

F - fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052;

ARL - são os açúcares redutores livres em %, cujos valores variam de 0,7 a 0,85%, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto;

Fg - fator de Gay Lussac igual a 0,6475;

PC - produção de colmos em t ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$), e em casos de significância, foi realizada análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e épocas de avaliação e teste de média Tukey ($p < 0,05$) para o fator fonte de nitrogênio, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano agrícola de 2014/15, a precipitação no local do experimento foi de 1701,40 mm, conforme demonstrado anteriormente na Figura 1, valor próximo do suficiente para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, que varia de 1500 a 2500 mm, conforme Doorenbos & Kassam (1979). Porém, o mesmo não ocorreu com regularidade durante toda a safra, esta precipitação predominou nos meses de 10/2014 a 06/2015, desta forma, os meses sucessores ao plantio 08/2014 a 10/2014 e no final da fase de crescimento 06/2015 a 08/2015 a precipitação foi insuficiente, período que a cultura dependeu do volume total de água adicionado via irrigação, que foi de 650,0 mm, totalizando o volume de 2351,40 mm durante o ciclo de cultivo.

Na análise de variância, observa-se que houve interação significativa entre os fatores dose e época para a variável matéria seca de folhas verdes (MSFV) evidenciando que o efeito da dose de adubação nitrogenada foi dependente da época de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar. Já as variáveis matéria seca de folhas mortas (MSFM) e matéria seca de ponteiro (MSPT) apresentaram efeito significativo para o fator época, evidenciando que a época de avaliação teve efeito durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (Tabela 2).

No Brasil, são observadas baixas respostas de cana-planta à adubação nitrogenada, possivelmente em razão da acentuada dinâmica da M.O. em solos tropicais e pela provável ocorrência da fixação biológica (URQUIAGA et al., 2012). Como no presente estudo foi utilizado um solo muito argiloso, com alto teor de M.O, as respostas ao nitrogênio e a interação da inoculação com a adubação nitrogenada possivelmente sofreram muita influência da M.O. do solo.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de folha verdes (MSFV), matéria seca de folha morta (MSFM) e matéria seca de ponteiro (MSPT) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | |
|----------------------|----|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | MSFV | MSFM | MSPT |
| Fonte | | 270,446634 ^{ns} | 196,567884 ^{ns} | 0,053204 ^{ns} |
| Bloco | 1 | 194,273939 ^{ns} | 306,260009 ^{ns} | 113,700804 ^{ns} |
| Resíduo a | 2 | 171,685097 | 418,612616 | 72,995104 |
| Dose | 3 | 2211,446757 ^{**} | 330,023382 ^{ns} | 248,716814 ^{ns} |
| Fonte x Dose | 3 | 77,693104 ^{ns} | 55,188429 ^{ns} | 77,794418 ^{ns} |
| Resíduo b | 3 | 77,693104 | 55,188429 | 77,794418 |
| Época | 3 | 30800,949795 ^{**} | 540,791237 ^{**} | 6141,024950 ^{**} |
| Fonte x Época | 3 | 121,319220 ^{ns} | 151,666962 ^{ns} | 144,858593 ^{ns} |
| Dose x Época | 9 | 240,492928 ^{**} | 125,286893 ^{ns} | 53,953844 ^{ns} |
| Fonte x Dose x Época | 9 | 64,100827 ^{ns} | 84,510225 ^{ns} | 23,766659 ^{ns} |
| Resíduo c | 57 | 50,519980 | 68,750111 | 54,039668 |
| CV a (%) | | 25,06 | 29,80 | 16,61 |
| CV b (%) | | 16,86 | 10,82 | 17,14 |
| CV c (%) | | 13,60 | 12,08 | 14,29 |

^{ns} não significativo e ^{**} significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

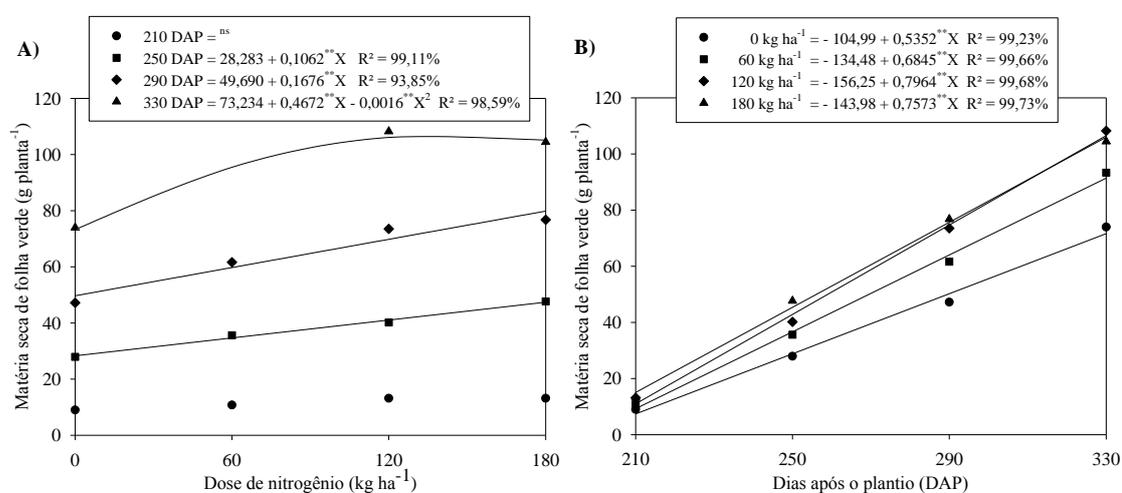
No desdobramento do fator dose dentro de cada época para a MSFV, observa-se que houve aumento linear estimado de 19,12 e 30,17 g planta⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 40,33 e 37,78%, respectivamente para 250 e 290 DAP. Já aos 330 DAP, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 107,34 g planta⁻¹ com 146,0 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 34,10 g planta⁻¹ (31,77%) (Figura 2A).

No desdobramento do fator época dentro de cada dose para a MSFV, observa-se que houve aumento linear estimado de 64,22, 82,14, 95,57 e 90,87 g planta⁻¹ aos 330 DAP, correspondente a 89,66, 89,86, 89,68 e 85,79%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 2B).

O maior acúmulo de biomassa dos 250 aos 330 DAP corroboram estudo realizado por Leite (2016), foram identificadas três fases distintas de crescimento, como se segue: 1) 0 até 135 DAC foi marcado por crescimento lento e baixo acúmulo de biomassa, acumulando 10% da biomassa total; 2) 135-270 DAC, período caracterizado pelo crescimento rápido que produziu, em média, 65% da biomassa total; e 3) a partir de 270 a 370 DAC, fase exibiu crescimento mais lento e representa a fase de acúmulo de açúcar, em média, 25% da biomassa total. Um padrão semelhante ao acúmulo de biomassa de cana-de-açúcar foi previamente descrito por outros autores para cana-

planta e os ciclos da soca (INMAN-BAMBER et al., 2002; GAVA et al., 2005; OLIVEIRA, 2011) para diversas variedades, locais e condições ambientais.

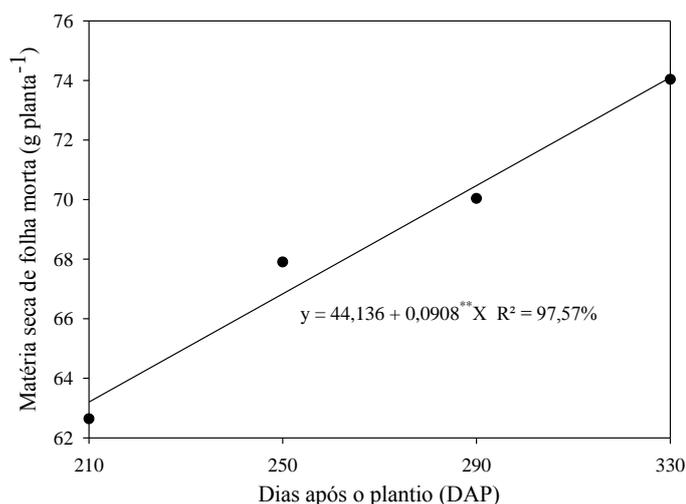
Para Bell & Garside (2005) e Allison et al. (2007) essas épocas de crescimento lento está relacionado com o perfilhamento e a lenta produção durante o estabelecimento da planta. Após o estabelecimento do dossel (ponteiros), a cana-de-açúcar é altamente eficiente na conversão de luz interceptada em biomassa (RAE et al., 2005; ALLISON et al., 2007). A última fase, retrata o aparecimento de acúmulo de açúcar, aumentando a sua concentração no colmo. Baixas temperaturas do ar, redução da pluviosidade e redução do fotoperíodo são fatores importantes que contribuem significativamente para o amadurecimento da cana (INMAN-BAMBER et al., 2002; ALLISON et al., 2007).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 2. Matéria seca de folha verde em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

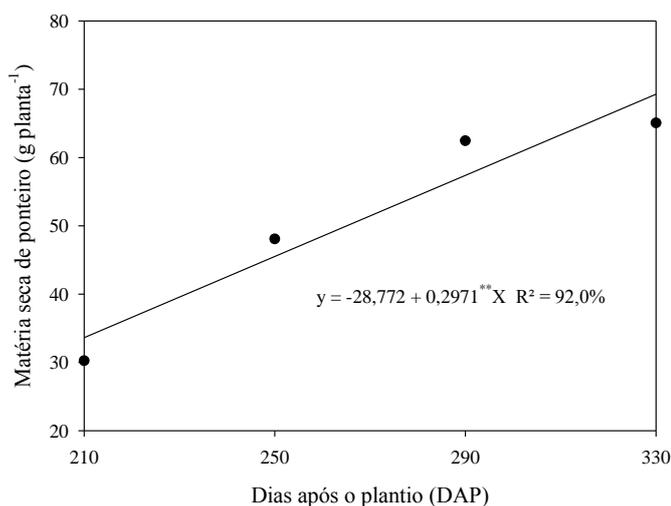
Na MSFM em função dos DAP, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de $74,10 \text{ g planta}^{-1}$ aos 330 DAP, que corresponde a (14,70%) $10,89 \text{ g planta}^{-1}$ em relação aos 210 DAP (Figura 3).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 3. Matéria seca de folha morta em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15.

Na MSPT em função dos DAP, observa-se que houve aumento linear máximo estimado de 69,27 g planta⁻¹ aos 330 DAP, que corresponde a (51,47%) 35,65 g planta⁻¹ em relação aos 210 DAP (Figura 4).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 4. Matéria seca de ponteiro em função da época de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15.

Na análise de variância, observa-se que houve interação significativa entre os fatores dose e época para as variáveis matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca total de parte aérea (MSTPA) evidenciando que o efeito da dose de adubação nitrogenada foi dependente da época de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (Tabela 3).

Bologna-Campbell (2007) e Vitti et al. (2007) também obteve resposta linear na produção de matéria seca da cana-planta a adição de N no plantio (doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N). Franco (2008) observou resposta quadrática altamente significativa ($p < 0,05$) para massa seca de colmos, da parte aérea (colmos, folhas secas e ponteiro) e total (parte aérea e raízes) com destaque ao tratamento com aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca total de parte aérea (MSTPA) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada em diferentes épocas de avaliação, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de variação | GL | Quadrados Médios | |
|----------------------|----|------------------------------|------------------------------|
| | | MSC | MSTPA |
| Fonte | 1 | 33102,882037 ^{ns} | 32447,318817 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 5744,765882 ^{ns} | 6895,548989 ^{ns} |
| Resíduo a | 2 | 13384,095603 | 18363,035645 |
| Dose | 3 | 181503,912457 ^{**} | 256967,246369 ^{**} |
| Fonte x Dose | 3 | 6553,804351 ^{ns} | 8566,573981 ^{ns} |
| Resíduo b | 3 | 6553,804351 | 8566,573981 |
| Época | 3 | 1422073,307071 ^{**} | 2136757,633675 ^{**} |
| Fonte x Época | 3 | 1701,006793 ^{ns} | 1327,987036 ^{ns} |
| Dose x Época | 9 | 8381,277190 [*] | 12062,878098 ^{**} |
| Fonte x Dose x Época | 9 | 1449,112514 ^{ns} | 2307,871804 ^{ns} |
| Resíduo c | 57 | 3727,765154 | 3650,832699 |
| CV a (%) | | 21,29 | 18,94 |
| CV b (%) | | 14,90 | 12,94 |
| CV c (%) | | 11,24 | 8,45 |

^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

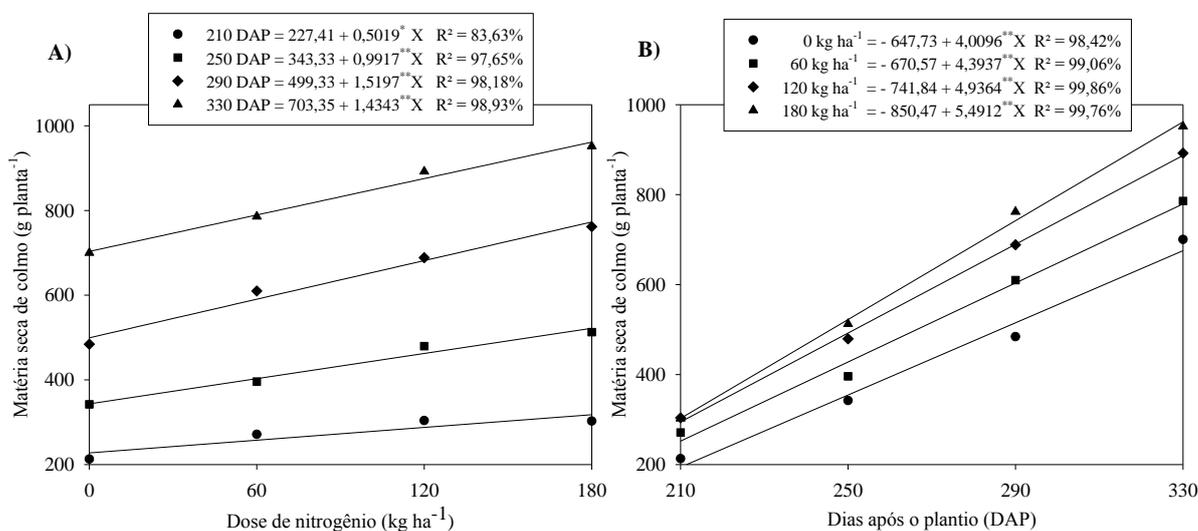
No desdobramento do fator dose dentro de cada época para a MSC, observa-se que houve aumento linear estimado de 90,34, 178,51, 273,546 e 258,17 g planta⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 28,43, 34,21, 35,39 e 26,85%, respectivamente para 210, 250, 290 e 330 DAP (Figura 5A).

Este resultado corrobora com Farias et al. (2008), pois em seu estudo constataram que o suprimento de água através da irrigação proporciona aumento da taxa de acúmulo de matéria seca do colmo da cana-de-açúcar.

No desdobramento do fator época dentro de cada dose para a MSC, observa-se que houve aumento linear estimado de 481,15, 527,24, 592,37 e 658,94 g planta⁻¹ aos 330 DAP, correspondente a 71,23, 67,65, 66,77 e 68,52%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 5B).

Otto et al. (2009), estudando a fitomassa da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio em dois solos diferentes (Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho distrófico), verificaram que a adubação nitrogenada de plantio promoveu aumento no crescimento de raízes e da parte aérea da cana-planta em Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico. No entanto, no Latossolo Vermelho distrófico com grande quantidade de N orgânico incorporado ao solo por meio de resíduos culturais a adubação nitrogenada de plantio não afetou o crescimento de raízes e da parte aérea da cana-planta.

Kölln (2012) também constatou elevação da matéria seca em função da dose de N e também do manejo irrigado com incrementos verificados em função da elevação da dose de N (0 para 140 kg ha⁻¹) de 40%. Para Otto et al. (2009) a eficiência do aproveitamento do nitrogênio pelas plantas pode favorecer o crescimento radicular, elevando a absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar, tornando-as melhor nutridas, promovendo assim um crescimento adequado.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Matéria seca de colmo em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator dose dentro de cada época para a MSTPA, observa-se que houve aumento linear estimado de 104,85, 220,07, 328,72 e 298,84 g planta⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ de N, correspondente a 24,37, 31,60, 32,94 e 24,61%, respectivamente para 210, 250, 290 e 330 DAP (Figura 6A).

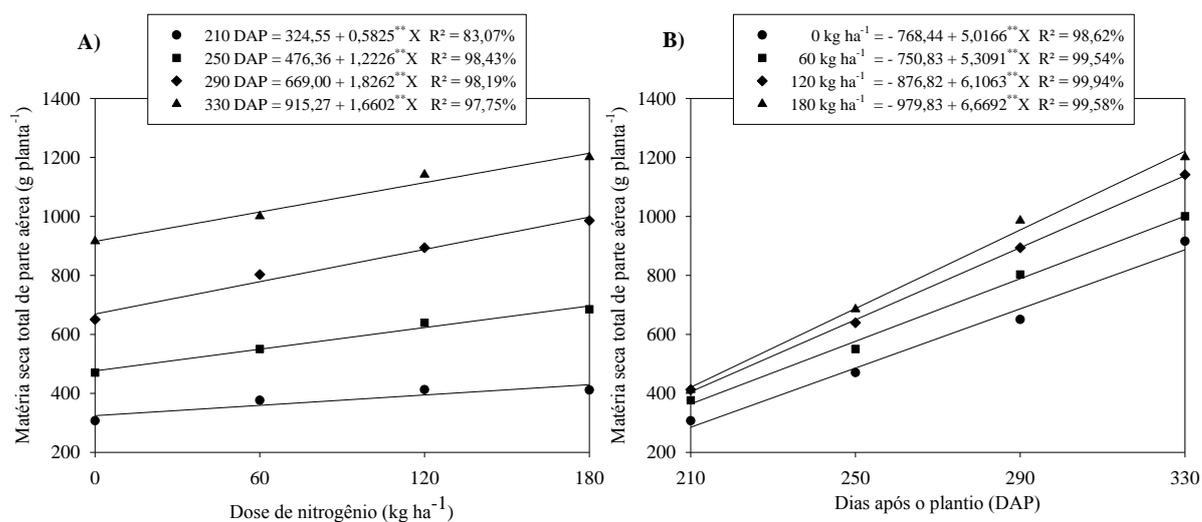
No desdobramento do fator época dentro de cada dose para a MSTPA, observa-se que houve aumento linear estimado de 601,99, 637,09, 732,76 e 800,30 g planta⁻¹ aos

330 DAP, correspondente a 67,86, 63,63, 64,37, 65,54%, respectivamente para 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 6B).

Os resultados obtidos contradizem com Arantes (2012), que avaliando o potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro, observou que em cada período de avaliação não foi observado efeito significativo para acúmulo de matéria seca total.

Oliveira et al. (2010), observaram valores entre 7,5 e 12,0 t ha⁻¹ para a MSP em variedades de cana-de-açúcar irrigadas, cujos valores foram semelhantes aos observados neste estudo.

Resultados observados por Carvalho (2015) mostra uma alocação de biomassa no colmo iniciou por volta dos 180 DAP e Oliveira et al. (2010), em um ensaio irrigado, observaram que a alocação no colmo se iniciou aos 120 DAP, que o maior acúmulo de biomassa de colmo aconteceu a partir dos 240 DAP, com destaque ao período a partir de 360 dias, quando houve acréscimo de cerca de 40% na biomassa total seca do colmo até a colheita. Esse comportamento também corrobora com observado por Oliveira et al. (2010), em condição irrigada, que registraram o aumento mais significativo entre 120 e 330 DAP. Provavelmente, essa diferença pode ter ocorrido pela baixa precipitação ao longo dos primeiros seis meses após o plantio no presente estudo.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 6. Matéria seca total de parte aérea em função da dose de nitrogênio (A) e em função da época de avaliação (B), Jataí – GO, safra 2014/15.

Na análise de variância, observa-se que as variáveis rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBAL) foram significativas para o fator dose de nitrogênio (Tabela 4).

Resultados encontrados por Franco et al. (2010) e Fortes et al. (2013) corroboram com este estudo, mostram um incremento do rendimento de açúcar e álcool em função da adubação nitrogenada no ciclo de cana-planta. Silva (2014) estudando o efeito da irrigação e adubação nitrogenada encontraram efeito significativo ($p < 0,05$) para ambos fatores para as variáveis RBAÇ e RBAL em cana-planta. Já a reposição hídrica combinada com a adubação nitrogenada promoveu aumento linear do rendimento bruto de álcool.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBAL) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte de variação | Quadrados médios | | |
|-------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| | GL | RBAÇ | RBAL |
| Fonte (F) | 1 | 16,9344 ^{ns} | 8,5801 ^{ns} |
| Dose (D) | 3 | 95,3390* | 47,8791* |
| Interação F x D | 3 | 18,8815 ^{ns} | 8,5801 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 76,0986* | 37,2069* |
| Resíduo | 14 | 18,8870 | 9,4596 |
| CV (%) | | 17,33 | 17,40 |

^{ns} não significativo e * significativo respectivamente a 5% de probabilidade segundo teste F. GL – Grau de Liberdade; CV – Coeficiente de Variação.

No RBAÇ em função da dose, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 29,18 t ha⁻¹ com 139,70 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 9,76 t ha⁻¹ (33,44%) (Figura 7A).

No RBAL em função da dose, observa-se que houve aumento quadrático máximo estimado de 19,80 m³ ha⁻¹ com 123,75 kg ha⁻¹ de N, que corresponde ao aumento de 6,12 m³ ha⁻¹ (30,94%) (Figura 7B).

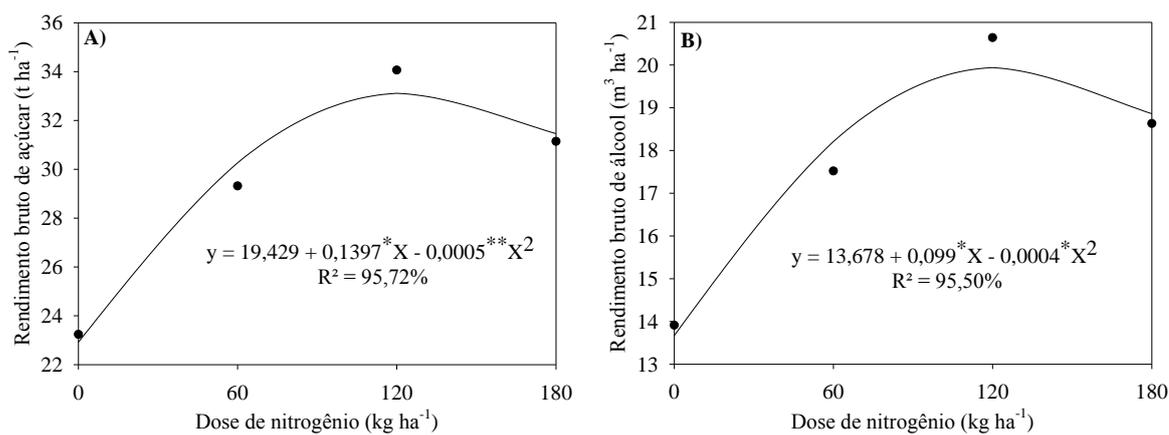
Resultados encontrados por Franco (2008) mostram que a adubação nitrogenada de plantio aumentou significativamente a produção de açúcar por hectare. Segundo Gava et al. (2010), a elevação da produtividade de canaviais irrigados com a aplicação simultânea de N-fertilizante ocorre pelo aumento da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado.

Esses resultados estão de acordo com encontrados por Silva (2014), em um Latossolo, em Rio Verde, GO, para variedade RB85-5453, observou incremento no RBAÇ

de (25,98%) 9,64 t ha⁻¹ e no RBAL de (26,25%) 1,7 m³ ha⁻¹, nos tratamentos irrigado e com adubação nitrogenada em condições de cana-planta.

Dantas Neto et al. (2006) observaram que a adubação de cobertura nas doses de 157 kg ha⁻¹ de N, proporcionaram aumentos significativos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, com acréscimo de 39,8% para RBAÇ.

Azevedo (2002) obteve, em pesquisa com cana-planta, o rendimento bruto de álcool máximo de 11,5 m³ ha⁻¹ com o total de água aplicada de 1043 mm, e o rendimento bruto mínimo de álcool de 4,8 m³ ha⁻¹ com o total de água aplicada de 609 mm.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 7. Rendimento bruto de açúcar (A) e rendimento bruto de álcool (B) em função da dose de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15.

Cantarella (2012) avaliou em seu estudo a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio num período de três anos e verificou que as produções de matéria seca do colmo foram significativamente maiores nas plantas adubadas com ureia (100 kg ha⁻¹ de N), sendo que o efeito residual dessa adubação também apareceu no ano subsequente. Esses resultados demonstram que as aplicações de N na cana-de-açúcar aumentam a produção de matéria seca do colmo e a produtividade final.

Otto et al. (2009), avaliando a fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio, constataram que as parcelas que não receberam o fertilizante nitrogenado, resultaram em maior gasto energético para o crescimento das raízes, fato que criou competição por fotoassimilados para o crescimento da parte aérea, e também pode explicar os menores valores para MST nos tratamentos sem aplicação de N-fertilizante no presente estudo.

5.4 CONCLUSÕES

A variável matéria seca de folha morta e matéria seca de ponteiro tiveram aumentos com a época de avaliação respectivamente de 14,70 e 51,47%. O maior acúmulo de matéria seca de folha verde foi observado aos 250 DAP (40,33%). Já para matéria seca de colmo e matéria seca total de parte aérea foram observados aos 290 DAP (34,16%).

A fonte de adubação nitrogenada não influencia o acúmulo de biomassa da cana-de-açúcar irrigada.

O aumento da dose de adubação nitrogenada proporciona aumento do acúmulo de matéria seca de folha verde, matéria seca de colmo e matéria seca total de parte aérea.

O maior rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool ocorreu na dose média de 131,72 kg ha⁻¹ de N, apresenta aumento médio de 32,19%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); a Usina Raízen unidade Jataí, GO e ao IF Goiano – Campus Rio Verde, GO, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 81:650-662, 1989.

ALLISON, J.C.S.; PAMMENTER, N.W.; AND HASLAM, R.J. Why does sugarcane (*Saccharum* sp. hybrid) grow slowly. **South African Journal Botany**, Durban, v. 73, p. 546-551, 2007.

ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. Botucatu, 2012. 65p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de ciências agrônômicas, 2012.

- AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba.** (Tese de Doutorado) - UFCG, 2002.
- BELL, M.J.; GARSIDE, A.L. Shoot and stalk dynamics and the yield of sugarcane crops in tropical and subtropical Queensland, Australia. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 231-248, 2005.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta.** 2007. 112 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras.** Maceió: Sindicato da Indústria e do Álcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.
- CANTARELLA, H. **Avaliação de resposta a N em cana-de-açúcar não adubada por três anos.** (Relatório) – Instituto agrônomo centro de solos e recursos ambientais – AGRISUS - Pesquisa Agrônômica 719/10, 2012.
- CARVALHO, E. X. **Ciclagem de nitrogênio e estimativa de biomassa de cana-de-açúcar em Pernambuco.** 2015, 71p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções.** 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. DE; AZEVEDO, H. M. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- DONALDSON, R.A.; REDSHAW, K.A.; VAN, R.; RHODES, R.A. Season effects on productivity of some commercial South African sugarcane cultivars, I: Biomass and radiation use efficiency. Proceedings of the South African Sugar Technology Association, Durban, v. 81, p. 517-527, 2008.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas Estudos de FAO: Irrigação e Drenagem, 33, Campina Grande: UFPB, 306p, 1994.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives.** Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 400p.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FORTES, C.; OCHEUZE TRIVELIN, P. C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.88-96, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100012>
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2763-2770, 2008.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2763-2770, 2008.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v.67, p.579-590, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000500012>
- GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.
- GAVA, G.J.D.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.D. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 689-695, 2005.
- INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.
- KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ¹³C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LEITE, J. M. Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada associada à aplicação de substâncias húmicas em cana-de-açúcar 2016. 130 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2016.

LELIS NETO, J. A. **Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônico e atributos físicos e químicos de um Nitossolo**. 138p. 2012. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LIMA, M. A. D.; ALVES, J. B. R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas**, n.27, p.1-360, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar**: uma Introdução ao Procedimento Prático Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, SE, 2012. 31p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.951–960, 2010.

OLIVEIRA, E.C.A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. 2011. 215 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.398-405, 2009.

RAE, A.L.; GROF, C.P.L.; CASU, R.E.; BONNETT, G.D. Sucrose accumulation in the sugarcane stem: pathways and control points for transport and compartmentation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 159-168, 2005.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, SP: Ceres: Potafós, 1991. 343 p.

- ROSSETTO, R. Maturação da cana-de-açúcar. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- SCHULTZ, N. REIS, V. M. URQUIAGA, S. Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal. Seropédica: Embrapa Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia. Documentos 298), 52 p., 2015.
- SILVA, N. F. **Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial**. 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia). Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2014.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.
- URQUIAGA, S.; XAVIER, G. R.; MORAIS, R. F.; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M.; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and ^{15}N natural abundance data for the contribution of biological N_2 fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 356, n. 1-2, p. 5–21, 2012.
- VAN HEERDEN, P.D.R.; DONALDSON, R.A.; WATT, D.A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, p. 2877-2887, 2010.
- VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. 882p.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.249-256, 2007.
- WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665-671, 2008.

CAPÍTULO III

APROVEITAMENTO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO TÉCNICA DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE ^{15}N

RESUMO: A partir da hipótese de que a fonte e a dose de adubação nitrogenada influenciam o aproveitamento de nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar irrigada, objetivou-se com este estudo avaliar o aproveitamento de nitrogênio de diferentes doses de nitrato de amônio e de ureia pela cana-de-açúcar irrigada, no ciclo de cana-planta, utilizando técnica de diluição isotópica de ^{15}N , em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Raízen, localizada no município de Jataí-GO, Brasil. Utilizou-se a variedade IACSP95-5000, em um delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em fatorial 4 x 2, com três repetições. Os tratamentos foram quatro doses de N (30, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); duas fontes de fertilizante marcadas com isótopo ^{15}N (ureia e nitrato de amônio). Os fertilizantes marcados com isótopo ^{15}N foram aplicados em uma microparcela de 1,0 m dentro das parcelas, que continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as duas linhas centrais. A irrigação foi por aspersão, realizada por um pivô central. Foi avaliada a variável nitrogênio acumulado pela planta, em kg ha⁻¹; quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, em kg ha⁻¹; aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral, em %; quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo, em kg ha⁻¹. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ($p < 0,05$), análise de regressão para doses de N e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para fontes de N. O aproveitamento do nitrogênio foi de 62,39% (133,90 kg ha⁻¹) para a fonte nitrato de amônio e de 42,74% (110,18 kg ha⁻¹)¹ para a ureia.

Palavras chave: *Saccharum* spp., nitrato de amônio, ureia, recuperação do N, Latossolo.

USE OF SOURCES AND NITROGEN DOSES BY IRRIGATED SUGARCANE, USING A ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIC

ABSTRACT: From the hypothesis that the source and the dose of nitrogen fertilization influence the nitrogen utilization in the irrigated soil-sugarcane system, this study aimed to evaluate the nitrogen utilization of different doses of ammonium nitrate and urea by irrigated sugarcane in the cane-plant cycle, using a ^{15}N isotopic dilution technic in a very clayey dystrophic Red Latosol, cerrado phase. The experiment was conducted at the Raízen Mill, located in the municipality of Jataí-GO, Brazil. The variety IACSP95-5000 was used in a randomized block design, analyzed in a 4 x 2 factorial, with three replicates. Treatments were four doses of N (30, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹); Two fertilizer sources marked with ^{15}N isotope (urea and ammonium nitrate). Fertilizers labeled with ^{15}N isotope were applied in a 1.0 m microplot within the plots, containing 6.0 rows of 5.0 m, whose useful area was the two central lines. The irrigation was by sprinkling, performed by a central pivot. It was evaluated the variable nitrogen accumulated by plant, in kg ha⁻¹; amount of N in the plant from the fertilizer, in kg ha⁻¹; nitrogen utilization of the mineral fertilizer, in %; amount of N in plant from native N of the soil, in kg ha⁻¹. The results were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), regression analysis for N doses and Tukey test comparison ($p < 0.05$) for N sources. Nitrogen was 62.39% (133.90 kg ha⁻¹) for the ammonium nitrate source and 42.74% (110.18 kg ha⁻¹) for urea.

Key words: *Saccharum* spp., ammonium nitrate, urea, N recovery, Latosol.

6.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a mais importante cultura no cenário energético brasileiro e a adubação nitrogenada destaca-se como umas das práticas culturais mais estudadas na cultura. Apesar disso, a grande demanda da cultura por N, alto custo financeiro e energético dos fertilizantes nitrogenados, riscos ambientais relacionados à adição de N mineral no sistema e outros questionamentos têm originado diversos estudos sobre adubação nitrogenada na cana-de-açúcar (CANTARELLA et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010; PENATTI, 2013). Além disso, o cultivo da cana-de-açúcar vem sofrendo mudanças nas formas de manejo no campo, cuja principal talvez seja a transição da

colheita manual com queima prévia do canavial para colheita mecanizada sem despalha à fogo. A colheita sem queima assegura a permanência dos resíduos vegetais (folhas secas e ponteiros) da espécie sobre o solo, e altera a dinâmica da mineralização-imobilização de N nos sistemas canavieiros. Em vista disso, estudos indicaram que há retorno do N oriundo dos restos culturais e, que a mineralização do N-orgânico contribui, mesmo que em pequena parte, com a nutrição do vegetal (VITTI et al., 2011; HOLST et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013).

A cana-de-açúcar é cultivada no Brasil com aplicação de doses de N-fertilizante muito inferiores às de outros países produtores de cana-de-açúcar (CANTARELLA et al., 2007). A adubação nitrogenada pode promover aumento da produtividade em cana-planta (FORTES et al., 2013; FRANCO et al., 2010). No entanto, em geral a resposta é pequena e ocorre em doses baixas, principalmente em virtude da incorporação de resíduos culturais e melhorias nas condições de fertilidade do solo com a reforma e replantio do canavial (CANTARELLA et al., 2007; FRANCO et al., 2007; VITTI et al., 2007).

Segundo Trivelin et al. (1995) para uma produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmos, a cultura extrai cerca de 200 a 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio. As quantidades de N exportadas pelos colmos são semelhantes ou até menores do que as doses aplicadas ao longo do ciclo, sem contar as perdas de N do sistema solo-planta (CANTARELLA et al., 2007). Diversas composições de N na planta foram encontradas e a extração e exportação variam entre variedades (OLIVEIRA et al., 2011) e com a disponibilidade hídrica (GAVA et al., 2010; TEODORO, 2011; KÖLLN, 2012). A recuperação do N aplicado como fertilizante pela cana-de-açúcar ou por outros vegetais depende da forma e local de aplicação, da precipitação, da variedade (OLIVEIRA et al., 2011) e da fonte de N aplicada (BASANTA et al., 2003).

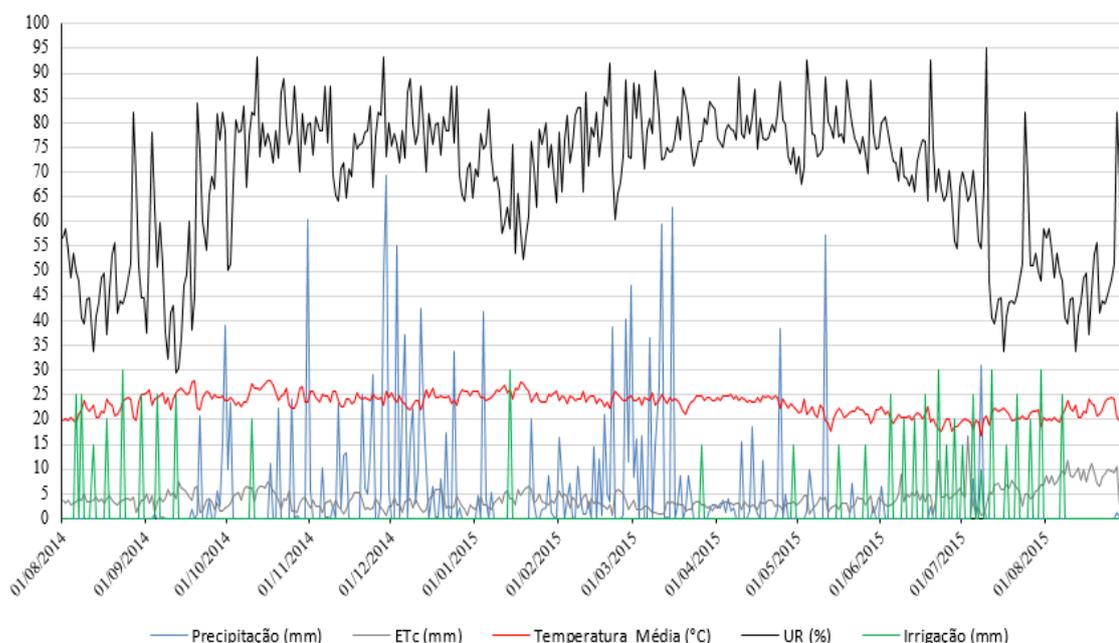
O isótopo estável do nitrogênio (¹⁵N) ocorre na natureza em concentrações mais baixas do que seu homólogo ¹⁴N. O uso dos isótopos de N é baseado no fato de que a proporção ¹⁴N/¹⁵N ocorre naturalmente numa razão quase constante de 273:1 (0,366% de átomos de ¹⁵N). Técnicas baseadas na mensuração das concentrações relativas desses isótopos são úteis para avaliar vários fenômenos ligados à nutrição nitrogenada das plantas (OLIVEIRA, 2012). Trabalhos realizados com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ¹⁵N evidenciaram ser variável o aproveitamento do ¹⁵N-fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar. No entanto, segundo Franco et al. (2008) nas condições brasileiras, os resultados de recuperação do ¹⁵N-fertilizante pela cana-de-

açúcar, obtidos no ciclo de cana-planta em condições de campo, são incipientes. Portanto, é importante avaliar o aproveitamento do ^{15}N -fertilizante pela cana-planta em experimentos de campo, principalmente pelo fato de ser a adubação nitrogenada em cana-planta uma das questões ainda não esclarecidas no manejo dos canaviais e, com isso, a utilização de fertilizantes nitrogenados marcados com ^{15}N auxiliaria no entendimento dessa lacuna.

O N apresenta uma dinâmica complexa, pelas múltiplas transformações e mobilidade no sistema solo-planta que podem resultar em perdas para os vegetais. Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada, que visem ao melhor aproveitamento de N pela cultura da cana-de-açúcar. Dessa forma, partindo da hipótese de que a fonte e dose de adubação nitrogenada influenciam o aproveitamento do nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar irrigada na região do cerrado, objetivou-se com este estudo avaliar o aproveitamento de nitrogênio de fontes e doses pela cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-planta, com emprego da técnica isotópica de ^{15}N , em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, fase cerrado.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraiso II, pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são $17^{\circ}44'2.62''\text{S}$ e $51^{\circ}39'6.06''\text{O}$, com altitude média de 907 metros. Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35° a 37°C , e a mínima de 12° a 15°C (no inverno há ocorrências de até 5° graus). A precipitação anual chega a 1.800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

Figura 1. Balanço hídrico diário no período decorrente do experimento, Jataí – GO, safra 2014/15

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso (EMBRAPA, 2013). Área de renovação do canal de 7 anos de cultivo. As características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural das amostras coletadas antes da instalação do experimento, são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade, Jataí – GO, safra 2014/15

| Camada m | pH CaCl ₂ | M.O. g dm ⁻³ | P _{Resina} ---mg dm ⁻³ --- | S | K | Ca | Mg | Al |
|-------------|--|----------------------------|---|------------------------|---|------------------|-----|-----|
| | | | | | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 5,9 | 72 | 45 | 13 | 9,9 | 53 | 22 | <1 |
| 0,10-0,20 | 5,6 | 46 | 13 | 26 | 12,1 | 31 | 12 | <1 |
| 0,20-0,40 | 5,2 | 41 | 8 | 91 | 8,9 | 15 | 6 | <1 |
| Camada m | H+Al mmol _c dm ⁻³ | CTC | V % | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| | | | | | -----mg dm ⁻³ ----- | | | |
| 0-0,10 | 22 | 106,9 | 79 | 0,28 | 1,2 | 39 | 3,4 | 2,1 |
| 0,10-0,20 | 28 | 83,1 | 66 | 0,17 | 1,6 | 36 | 1,6 | 1,0 |
| 0,20-0,40 | 21 | 60,9 | 49 | 0,12 | 1,4 | 25 | 0,7 | 0,3 |
| Camada m | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | Classificação textural | θ _{CC} | θ _{PMP} | | |
| | Areia | Silte | Argila | | cm ³ . cm ⁻³ | | | |
| 0-0,10 | 96 | 82 | 822 | Muito argiloso | 46,3 | 22,6 | | |
| 0,10-0,20 | 97 | 82 | 822 | Muito argiloso | | | | |
| 0,20-0,40 | 85 | 71 | 845 | Muito argiloso | 45,8 | 22,6 | | |

Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais (IAC, 2001). M.O - Matéria Orgânica; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação da CTC por bases; θ_{CC} – Conteúdo de água na capacidade de campo; θ_{PMP} – Conteúdo de água no ponto de murcha permanente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em fatorial 4 x 2, com três repetições. Os tratamentos foram quatro doses de fertilizante marcado com isótopo ^{15}N (30, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); duas fontes de fertilizante marcado com isótopo ^{15}N (ureia e nitrato de amônio). A equipe técnica da usina participou da discussão para escolha das doses e fontes de nitrogênio.

A adubação nitrogenada foi realizada de acordo com os tratamentos, aos 60 dias após o plantio, aplicada a lanço, do lado da linha (0,20 m), contrário ao sentido da declividade do terreno. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo (100 kg ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo (P₂O₅), potássio (80 kg ha⁻¹) na forma de cloreto de potássio (K₂O), e micronutrientes, conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa & Lobato (2004).

Os fertilizantes ureia e nitrato de amônio foram enriquecidos, respectivamente, com 1,91 e 1,18% de isótopo ^{15}N e aplicados a lanço em uma microparcela de 1,0 m localizada centralizada na segunda linha dentro das parcelas que continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as 2,0 linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,5 m em cada extremidade.

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio mecanizado dos toletes. A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta, plantada em 05/08/2014.

Os tratos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, e de acordo com a experiência da Usina Raízen.

A irrigação foi realizada por um Pivô central marca ZIMMATIC, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com uma área total irrigada de 139,31 ha, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples IMBIL modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

O monitoramento da lâmina de irrigação foi realizado de acordo com a experiência da Usina Raízen. Durante o ciclo da cultura, diariamente foram coletados os

dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima e mínima (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (kJ m^2) e precipitação diária (mm), obtidos através de estação meteorológica.

A partir da coleta destes dados, foram gerados o balanço hídrico e o balanço de água no solo com o auxílio de um software de gerenciamento de irrigação (IRRIGER®). No software, o monitoramento climático é utilizado para estimar o consumo hídrico diário da cana-de-açúcar, gerando o balanço hídrico diário e calculando a lâmina de irrigação a ser aplicada, permitindo o controle do momento adequado para irrigar. O software utiliza o método de Penman-Monteith (Padrão FAO, 1991), adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas quatro últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana-de-açúcar, utilizou-se o parâmetro conhecido como Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando-se um refratômetro portátil. Os valores de IM são: (a) menor que 0,60 para cana verde; (b) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; (c) entre 0,85 e 1 para cana madura; e (d) maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (ROSSETO, 2012).

A colheita foi realizada em 25/08/2015, a produtividade de colmo e ponteiro foi determinada através da pesagem total dos colmos presentes nas respectivas parcelas, quantificado o peso dos colmos e ponteiros em 2 m das duas linhas centrais, cujo valor foi extrapolado para t ha^{-1} . Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg.

Foram coletadas as plantas centrais de cada linha das microparcelas, na época da colheita dos colmos. As plantas foram pesadas e colocadas para secar e coletadas amostras de colmos e ponteiros, que foram utilizados para determinar a concentração de ^{15}N na cana-de-açúcar. As amostras foram fragmentadas, misturadas e retiradas. A seguir, foram secas a 65°C por 72 horas, depois finamente moídas em peneira de 40 mesh, pesadas em balança de precisão (cinco casas decimais) e determinados do teor N total e da abundância de ^{15}N . As determinações do N-total e da abundância em ^{15}N no material vegetal foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP,

em espectrômetro de massa (IRMS), acoplado a analisador automático 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, conforme metodologia descrita em Barrie & Prosser (1996).

A recuperação do N do fertilizante foi calculada considerando-se a quantidade e o respectivo enriquecimento (% de átomos de ^{15}N) das fontes de N aplicadas (ureia e nitrato de amônio), descontados da abundância natural do isótopo estável de ^{15}N , que é de 0,3663% conforme as equações 1 a 5 a seguir:

Nitrogênio acumulado pela planta (NA, kg ha^{-1})

$$\text{NA} = \frac{\text{N} \cdot \text{MS}}{1000} \quad (1)$$

em que:

N - Concentração de nitrogênio (g kg^{-1});

MS - Matéria seca (kg ha^{-1}).

Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf)

$$\% \text{Nppf} = \frac{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso na planta}}{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no fertilizante}} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

% átomos de ^{15}N em excesso na planta - % átomos de ^{15}N na planta subtraindo-se a abundância natural ^{15}N (0,3663 %);

% átomos de ^{15}N em excesso no fertilizante - % átomos de ^{15}N no fertilizante subtraindo-se a abundância natural ^{15}N (0,3663%).

Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf, kg ha^{-1})

$$\text{QNppf} = \frac{\% \text{Nppf} \cdot \text{NA}}{100} \quad (3)$$

em que:

NA - nitrogênio acumulado (kg ha^{-1});

%Nppf - porcentagem de N na planta proveniente do vegetal ou do fertilizante.

Aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral

$$\text{AP} = \frac{\text{Qppf}}{\text{QNA}} \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

QNppf - quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (kg ha^{-1});

QNA - quantidade de nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante marcado (kg ha^{-1}).

Quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo e outras fontes (QNpps, kg ha⁻¹)

$$QNpps = NA - QNppf \quad (5)$$

em que:

NA - nitrogênio acumulado (kg ha⁻¹);

QNppf - quantidade de N (kg ha⁻¹) na planta proveniente do fertilizante.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) de probabilidade, e em casos de significância, foi realizado análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e teste de média Tukey ($p < 0,05$) para o fator fonte de nitrogênio, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano agrícola de 2014/15, a precipitação no local do experimento foi de 1701,40 mm, conforme demonstrado anteriormente na Figura 1, valor próximo do suficiente para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, que varia de 1500 a 2500 mm, conforme Doorenbos & Kassam (1979). Porém, o mesmo não ocorreu com regularidade durante toda a safra, esta precipitação predominou nos meses de 10/2014 a 06/2015, desta forma, os meses sucessores ao plantio 08/2014 a 10/2014 e no final da fase de crescimento 06/2015 a 08/2015 a precipitação foi insuficiente, período que a cultura dependeu do volume total de água adicionado via irrigação, que foi de 650,0 mm, totalizando o volume de 2351,40 mm durante o ciclo de cultivo.

Na análise de variância, observa-se que houve interação significativa entre os fatores fonte e dose para variável nitrogênio acumulado pela planta (NA, kg ha⁻¹), percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf), quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf, kg ha⁻¹), aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral, Quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps, kg ha⁻¹), e evidencia que o efeito da fonte de adubação nitrogenada foi dependente da dose de N aplicada à cana-de-açúcar (Tabela 2).

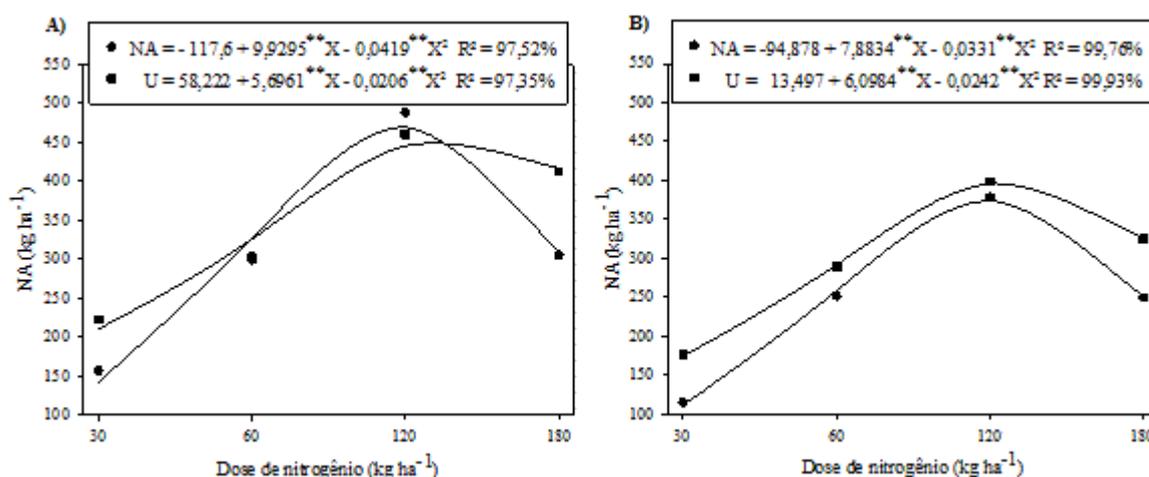
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis nitrogênio acumulado pela planta (NA, kg ha⁻¹), percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf), quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf, kg ha⁻¹), aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral, quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps, kg ha⁻¹) em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| FV | GL | Quadrados médios | | | | |
|-----------------|----|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | NA | %Nppf | QNppf | AP% | QNpps |
| Colmo | | | | | | |
| Fonte (F) | 1 | 8374,99** | 67,33** | 352,89** | 222,34** | 12165,75** |
| Dose (D) | 3 | 84319,52** | 137,10** | 2439,73** | 171,30** | 63328,32** |
| Interação F x D | 3 | 5540,84** | 28,50** | 108,76** | 28,41** | 6511,97** |
| Bloco | 2 | 619,69 ^{ns} | 0,0105 ^{ns} | 10,93 ^{ns} | 6,21 ^{ns} | 466,19 ^{ns} |
| Resíduo | 14 | 619,69 | 0,3364 | 7,31 | 5,56 | 362,80 |
| CV (%) | | 5,87 | 7,12 | 9,42 | 8,39 | 6,30 |
| Ponteiro | | | | | | |
| Fonte (F) | 1 | 13916,31** | 49,59** | 118,90** | 57,29** | 16609,50** |
| Dose (D) | 3 | 59472,67* | 106,67** | 1165,52** | 65,59** | 48526,39* |
| Interação F x D | 3 | 923,13** | 17,12** | 59,87** | 24,82** | 1205,68** |
| Bloco | 2 | 56,98 ^{ns} | 0,83* | 3,58 ^{ns} | 0,2048 ^{ns} | 31,92 ^{ns} |
| Resíduo | 14 | 613,50 | 0,08 | 3,39 | 2,9012 | 529,90 |
| CV (%) | | 9,07 | 4,26 | 9,56 | 9,12 | 9,07 |

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

No desdobramento do fator dose para cada fonte de adubação nitrogenada, para a variável nitrogênio acumulado (NA) no colmo, observa-se que houve acúmulo de 470,67 e 451,98 kg ha⁻¹, respectivamente, com as doses de 118,49 e 138,25 kg ha⁻¹ de N, e correspondeu a aumentos de até 69,91 e 53,41% para nitrato de amônio e ureia respectivamente (Figura 2A). Já o nitrogênio acumulado no ponteiro, observa-se que houve acúmulo de 374,52 e 397,69 kg ha⁻¹ com as doses de 119,08 e 126,0 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 70,14 e 56,98%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 2B). Esses resultados mostram que houve maior acúmulo de nitrogênio no colmo da cana-de-açúcar em relação ao ponteiro e que a fonte nitrato de amônio contribuiu com a maior parte desse acúmulo no colmo em relação à ureia. Isto é diferente do que ocorreu no ponteiro, e a fonte ureia contribuiu para maior acúmulo de nitrogênio. O N exportado no colmo representou cerca de 54,44% (461,32 kg ha⁻¹) do acumulado na biomassa de parte aérea, cujo valor é próximo aos 56% encontrados por Oliveira et al. (2010) para as variedades variedade RB867515, RB92579 e RB863129 e 50% obtidos por Franco et al. (2008) para a variedade SP31-3250. Esse é um comportamento importante, já que os resíduos ou palhada remanescente no campo é composto das folhas e do ponteiro, e no presente estudo acumulou quase 45,50% do N

da parte aérea. A decomposição dos resíduos de folhas e ponteiros retornados ao solo pode disponibilizar N para as plantas através de um processo lento e dependente de fatores envolvidos (BASANTA et al., 2003, GAVA et al., 2003; VITTI et al., 2011), uma vez que a mineralização do N orgânico é mediada pela microbiota quimiorganotrófica (heterotrófica), por sua vez, dependente de 3 fatores climáticos, sobretudo umidade e temperatura (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002; CANTARELLA et al., 2007).



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 2. Nitrogênio acumulado pela planta (NA) em função da dose de nitrogênio - nitrato de amônio (NA) e ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator fonte, para cada dose de adubação nitrogenada, para a variável nitrogênio acumulado (NA) no colmo, observa-se que houve maior acúmulo de N, com a aplicação das doses de 30 e 180 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, correspondendo a aumentos de 29,35 e 26,11%, respectivamente, em relação ao uso de nitrato de amônio (Tabela 3). Já em relação ao nitrogênio acumulado no ponteiro, observa-se que houve maior acúmulo com o uso de ureia, nas doses de 30 e 180 kg ha⁻¹, correspondendo a aumentos de 34,52 e 23,17%, respectivamente, em relação ao nitrato de amônio. Esses resultados mostram que em condições de baixa ou elevada quantidade de nitrogênio a ureia contribuiu para maior acúmulo de N, e pode ser explicado pela alta concentração de N na ureia, quando comparado ao nitrato de amônio, além da sua maior disponibilidade em um curto espaço de tempo, diferente de doses medianas como 60 e 120 kg ha⁻¹ que não apresentaram efeito significativo. Segundo Taiz & Zeiger (2013) os vegetais são capazes de assimilar as formas inorgânicas de N, amônio e NO₃⁻ absorvidas

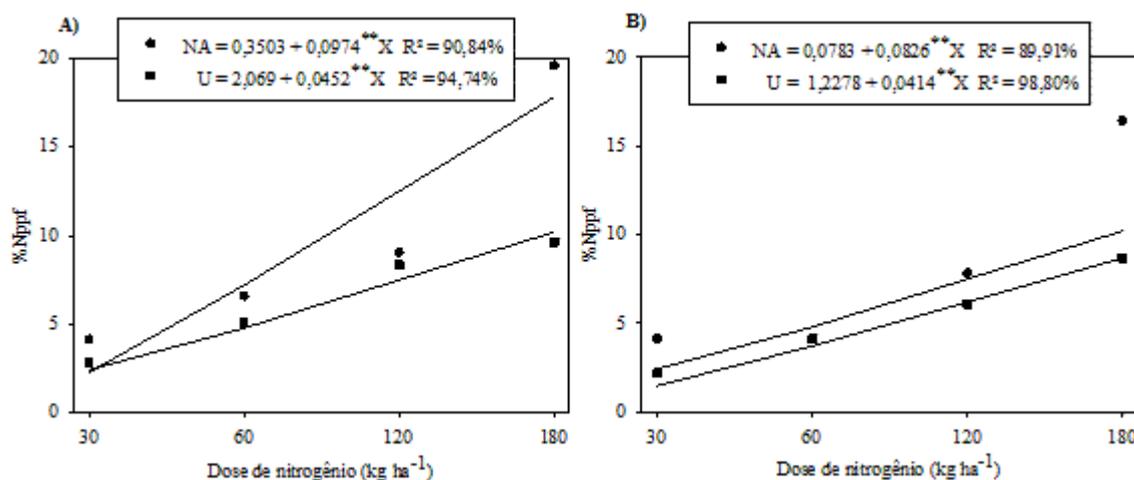
do solo e, ainda obter o N por relações simbióticas com bactérias, proveniente do N molecular (N_2), e assimilar a amônia, mas o crescimento vegetal torna-se favorecido quando há o alcance das duas formas de N, NH_4^+ e o NO_3^- , pois ao serem assimiladas desencadeiam no interior da planta um balanço iônico benéfico. Entretanto, pesquisadores confirmaram que algumas espécies vegetais possuem a preferência pela forma amoniacal do N ao invés da nítrica (RICHARDSON et al., 2009; ROBINSON et al., 2011).

Tabela 3. Médias de nitrogênio acumulado pela planta (NA) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte | NA (kg ha ⁻¹) | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| Colmo | | | | |
| Ureia | 222,75 a | 299,32 | 460,86 | 412,78 a |
| Nitrato de amônio | 157,38 b | 303,19 | 488,44 | 305,00 b |
| Ponteiro | | | | |
| Ureia | 176,38 a | 288,86 | 398,43 | 325,17 a |
| Nitrato de amônio | 115,49 b | 252,03 | 378,86 | 249,83 b |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator dose, para cada fonte de adubação nitrogenada, para a variável percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) no colmo, observa-se aumentos de 14,61 e 12,69%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 3A). Já no ponteiro, observa-se que aumento de 6,78 e 6,15%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 3B). Esses resultados mostram que houve maior favorecimento do colmo e que a menor parte do nitrogênio na planta é oriunda do fertilizante, sendo que a fonte nitrato de amônio contribuiu para maior percentagem de nitrogênio na planta.



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 3. Percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio NA e ureia U, (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator fonte, para cada dose de adubação nitrogenada, para a variável percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) no colmo, observa-se que houve maior acúmulo de nitrato de amônio na dose de 30, 60 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 1,31, 1,50 e 9,87% em relação a ureia. Já no ponteiro, observa-se que houve maior acúmulo de nitrato de amônia na dose de 30, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 1,96, 1,76, 7,77% em relação a ureia (Tabela 4). Esses resultados mostram em condições de baixa ou elevadas doses de adubação nitrogenada a fonte nitrato de amônio contribuiu para maior porcentagem de N na planta de cana-de-açúcar oriunda do fertilizante, provavelmente em função de sua menor perda no ambiente de produção.

Tabela 4. Médias de percentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%Nppf) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

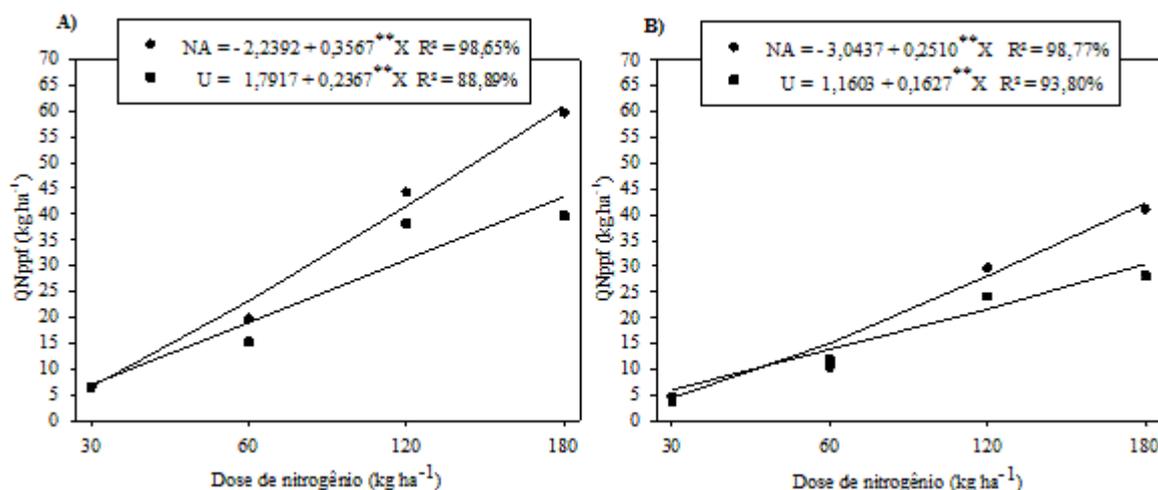
| Fonte | %Nppf | | | |
|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| Colmo | | | | |
| Ureia | 2,83 b | 5,10 b | 8,34 | 9,63 b |
| Nitrato de amônio | 4,14 a | 6,60 a | 9,06 | 19,50 a |
| Ponteiro | | | | |
| Ureia | 2,18 b | 4,13 a | 6,07 b | 8,66 b |
| Nitrato de amônio | 4,14 a | 4,14 a | 7,83 a | 16,43 a |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator dose, para cada fonte de adubação nitrogenada, para a variável quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) no colmo,

observa-se que a QNppf foi de 61,96 e 42,26 kg ha⁻¹ de N na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de 86,34 e 89,34%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 4A). Já no ponteiro, observa-se que a QNppf foi de 44,40 e 30,45 kg ha⁻¹ de N na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 79,97 e 80,15%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 4B). Esses resultados mostram que houve mais acúmulo de nitrogênio proveniente do fertilizante no colmo da cana-de-açúcar em relação à QNppf do ponteiro. Também, que a fonte nitrato de amônio contribuiu com maior parte da QNppf no colmo em comparação com a ureia, diferentemente do que ocorreu no ponteiro, e a fonte ureia contribuiu para maior quantidade de nitrogênio.

Resultados encontrados na literatura são inferiores aos observados neste estudo, cujos mesmos mostram a proporção média do N na planta proveniente do fertilizante, a exemplo 22 kg ha⁻¹ observados por Franco et al. (2008) e 24,7 kg ha⁻¹ observados por Fortes et al. (2011). Existem ainda outros que observaram pequenas contribuições do total do N absorvido em cana planta proveniente do fertilizante (VITTI et al., 2011; CARVALHO, 2015).



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 4. Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator fonte, para cada dose de adubação nitrogenada para a variável quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) no colmo, observa-se que houve maior QNppf com uso de nitrato de amônio nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de 13,65 e 33,36% em relação à ureia. Já

no ponteiro, observa-se que houve maior quantidade de N proveniente da ureia, nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 18,47 e 31,38% em relação ao uso de nitrato de amônio (Tabela 5). Esses resultados mostram que, em condições de elevada quantidade de nitrogênio, o nitrato de amônio contribuiu para uma maior quantidade de N na planta, e pode ser explicado pelo fato de o nitrato de amônio estar mais disponível para absorção da planta, apesar de ser mais propício a perdas no sistema. Os níveis de NH₄⁺ e NO₃⁻ encontrados no solo são provenientes de uma série de fatores, tais como, as condições ambientais (precipitação e temperatura) e do balanço entre os processos de mineralização e imobilização resultantes da atividade biológica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). O NH₄⁺, um cátion, no solo permanece adsorvido nas superfícies das partículas inorgânicas ou orgânicas que apresentam cargas negativas. Essa forma de N permanecendo adsorvido às partículas representa naturalmente uma reserva no solo, ficando protegido e, ao mesmo tempo, disponível às plantas e à microbiota. O NO₃⁻ por ser um ânion é mantido dissolvido em solução sendo repellido pelas partículas do solo, ficando, assim, mais vulnerável às perdas, tal como a lixiviação (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Tabela 5. Médias de quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

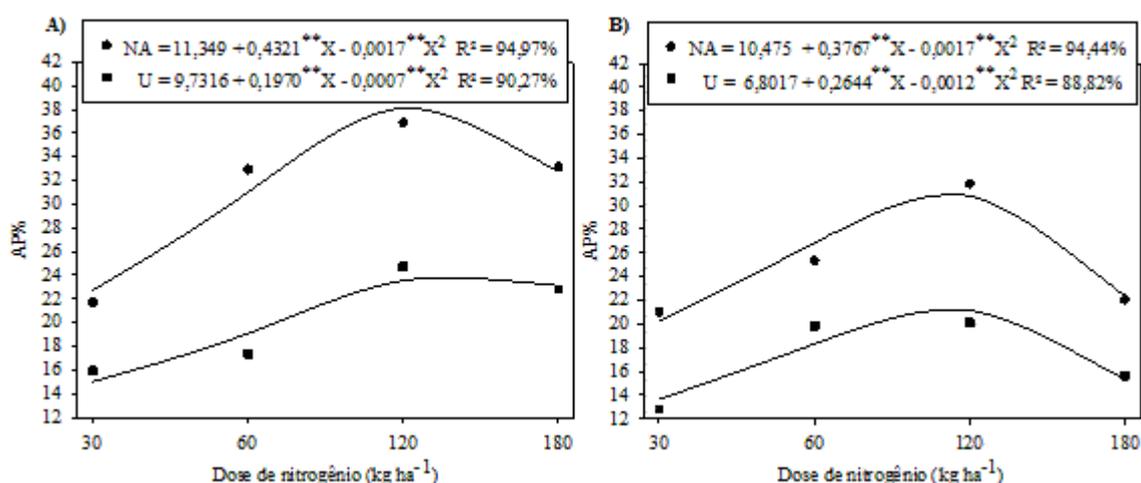
| Fonte | QNppf (kg ha ⁻¹) | | | |
|-------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| Colmo | | | | |
| Ureia | 6,30 | 15,22 a | 38,20 b | 39,74 b |
| Nitrato de amônio | 6,52 | 19,75 a | 44,24 a | 59,64 a |
| Ponteiro | | | | |
| Ureia | 3,85 | 10,44 | 24,18 b | 28,16 b |
| Nitrato de amônio | 4,78 | 11,92 | 29,66 a | 41,04 a |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator dose, para cada fonte de adubação nitrogenada, para a variável aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) pelo colmo, observa-se que o AP% foi de 38,80 e 23,59% na dose de 127,08 e 110,20 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de 16,02 e 7,72%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 5A). Já no ponteiro, observa-se que o AP% foi de 21,37 e 21,36% na dose de 140,71 e 110,16 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de 8,58 e 7,71%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 5B). Esses resultados mostram que houve maior favorecimento do colmo e que a menor parte do nitrogênio na planta é

oriunda do fertilizante, sendo que a fonte nitrato de amônio contribuiu para maior porcentagem de aproveitamento de nitrogênio pela planta. Resultados encontrados por Franco et al. (2008) mostram que a distribuição do N proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N, sendo em média de 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

A recuperação média do fertilizante foi de 21%, sem diferenças significativas entre variedades. Essa recuperação foi menor que os 55% obtidos por Vitti et al. (2007); 31% por Fortes et al. (2011) e cerca de 30% por Franco (2008), e ficou dentro da variação de 15 a 42% observada por Oliveira et al. (2011), em diferentes variedades. O maior aproveitamento do N pode ser explicado pela maior umidade do solo no sistema irrigado que, possivelmente, permitiu a diminuição das perdas de N por volatilização de amônia, além da maior quantidade de fertilizante aplicada, uma vez que, a menor recuperação pode ser resultado de diversos fatores, como a pouca umidade nos primeiros meses de cultivo, a pequena quantidade de fertilizante aplicada nas parcelas imobilização do N (BASANTA et al., 2003) e perdas por volatilização de NH_3 , que pode atingir até 46% (VITTI et al., 2007) ou por lixiviação depois de iniciadas as chuvas (FRANCO et al., 2008).



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

O uso da técnica do traçador isotópico ^{15}N para mensurar a absorção do N-fertilizante pela planta tem relatado baixa recuperação do N pela cana-de-açúcar derivado dos fertilizantes minerais. De acordo com Franco et al. (2011), durante as fases

iniciais da cana-de-açúcar, o N-fertilizante é a principal fonte do nutriente à cultura, o que representa mais de 70% do N extraído pelas plantas. No entanto, a cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, permanecendo no campo por pelo menos 12 meses. A recuperação do N fertilizante diminui ao longo do ciclo e, no momento da colheita, atinge valores que variam de 5% a 42% (PRASERTSAK et al., 2002; VITTI et al., 2007; FRANCO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011). No entanto, para Otto et al. (2013) e Vieira-Megda et al. (2015) na colheita da cana-de-açúcar, a participação do N fertilizante no N total da planta se reduz significativamente e em muitos estudos não apresenta resposta à adubação com as doses de N.

No desdobramento do fator fonte, para cada dose de adubação nitrogenada, para a variável aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) pelo colmo, observa-se que houve aproveitamento do N do nitrato de amônio nas doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aproveitamentos de até 7,55, 5,04 e 11,05% em relação a ureia. Já pelo ponteiro, observa-se que houve maior aproveitamento de N do nitrato de amônia nas doses de 30, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aproveitamentos de 3,11, 4,56 e 7,15% em relação à ureia (Tabela 6). Esses resultados mostram que o aproveitamento do N oriundo da fonte nitrato de amônio foi maior tanto no colmo como no ponteiro. Esse resultado pode ser explicado pelo fato da maior contribuição da percentagem de nitrogênio na planta de cana proveniente do fertilizante (%Nppf) (Tabela 5) e da quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppf) (Tabela 6) serem maiores para a fonte nitrato de amônio como já discutido anteriormente; portanto, isso favoreceu maior aproveitamento.

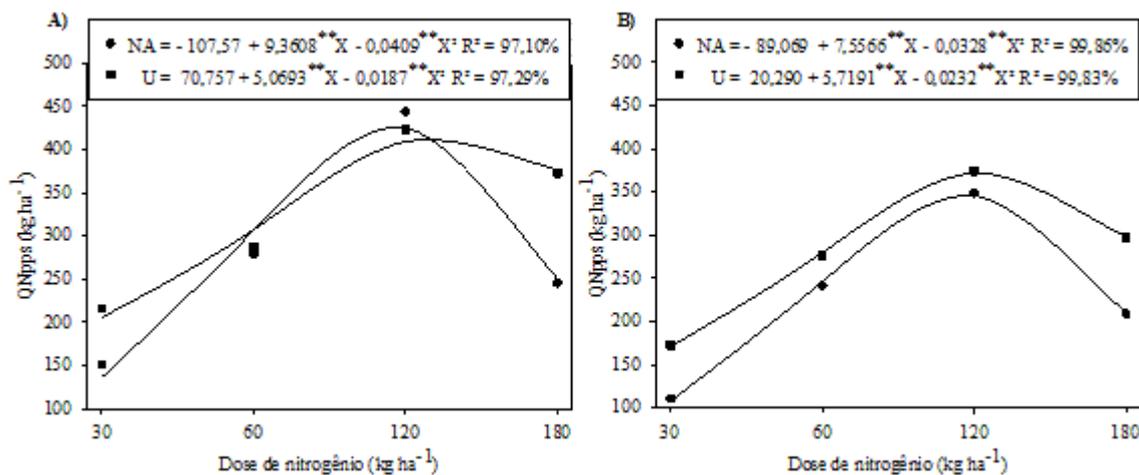
Resultados encontrados por Franco et al. (2008) mostram que a recuperação de ¹⁵N-ureia pela cana-planta (planta toda) foi na média dos experimentos de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses e 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N e a menor recuperação do N-ureia nas maiores doses, na de 120 kg ha⁻¹, deveu-se às perdas de N do sistema solo-planta. Vitii et al. (2007) no balanço do ¹⁵N-fertilizante, obtiveram recuperação no sistema solo-planta do N sulfato de amônio e da ureia, em média, 74 e 55%, respectivamente. A distribuição das raízes, o teor de umidade, a taxa de desenvolvimento das plantas, os conteúdos de NH₄⁺ e NO₃⁻ em solução no solo, são os fatores que influenciam no aproveitamento do N-mineral pelas plantas (RICHARDSON et al., 2009).

Tabela 6. Médias de aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) nas diferentes fontes de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte | AP% | | | |
|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| Colmo | | | | |
| Ureia | 21,02 | 25,37 b | 31,83 b | 22,08 b |
| Nitrato de amônio | 21,72 | 32,92 a | 36,87 a | 33,13 a |
| Ponteiro | | | | |
| Ureia | 12,83 b | 17,39 | 20,15 b | 15,65 b |
| Nitrato de amônio | 15,94 a | 19,86 | 24,71 a | 22,80 a |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento do fator dose, para cada fonte de adubação nitrogenada, para a variável quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) no colmo, observa-se que a QNpps foi de 428,03 e 414,31 kg ha⁻¹ de N, nas doses de 114,43 e 135,54 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 68,12 e 50,28%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 6A). Já no ponteiro, observa-se que a QNpps foi de 346,16 e 373,75 kg ha⁻¹ de N nas doses de 115,19 e 123,25 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aumentos de até 68,77 e 54,13%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 6B). Esses resultados mostram que da quantidade de N acumulado pela cana-de-açúcar, houve contribuição menor do N proveniente do fertilizante quando comparado ao N proveniente do N nativo do solo. Esses resultados estão de acordo com estudos realizados por (DOURADO NETO et al. 2010; VITTI et al., 2011), que mostram que a contribuição do N proveniente do fertilizante para a cultura em cana-planta pode ser pequena comparada ao total de N absorvido pela planta. Holst et al. (2012) consideram que, pelo fato da baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados, compreende-se que a cana-de-açúcar absorva grandes conteúdos de N provenientes da mineralização do solo.



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 6. Quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) em função da dose de nitrogênio – nitrato de amônio (NA) ureia (U), (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

No desdobramento do fator fonte, para cada dose de adubação nitrogenada, para a variável quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) no colmo, observa-se que houve maior QNpps com o uso de ureia, quando da aplicação das doses de 30 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aproveitamentos de até 30,30 e 34,22% em relação ao nitrato de amônio. Já no ponteiro, observa-se que houve maior QNpps com uso de ureia na dose de 30 e 180 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a aproveitamentos de até 35,83 e 29,70% em relação ao nitrato de amônio (Tabela 7).

Esses resultados mostram que onde foi utilizado a fonte ureia a contribuição do N nativo do solo foi maior. Adicionalmente, foi demonstrado por pesquisadores que a cana-de-açúcar tem preferência pela forma mineral NH₄⁺ (ROBINSON et al., 2011), podendo apresentar maior produtividade de colmos quando nutrida preferencialmente por esta forma do N. Esse fato indica a possibilidade de alterações nas formas de manejo dos canaviais visando disponibilizar à cultura N na forma reduzida (amoniacal). Todavia, ainda são necessários estudos científicos mais detalhados acerca desse assunto para a sua devida comprovação. Os resultados do presente estudo demonstram que, independentemente da dose e da fonte de N aplicada, o solo, foi a principal fonte de N para a cana-de-açúcar, e evidencia a necessidade de práticas de manejos que mantenha o N residual de adubações, bem como N mineralizado dos restos culturais, dentro da zona explorada pelas raízes das soqueiras subsequentes associadas a práticas de manejo que mantenha o potencial de fornecimento de N pelo solo em longo prazo. Vale ressaltar,

ainda, que o incremento da dose de N, independentemente da fonte proporcionou incremento na produtividade de colmos e ponteiros.

Tabela 7. Médias de quantidade de N na planta proveniente do N nativo do solo (QNpps) nas diferentes fontes adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte | QNpps (kg ha ⁻¹) | | | |
|-------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| Colmo | | | | |
| Ureia | 216,44 a | 287,97 | 422,67 | 373,03 a |
| Nitrato de amônio | 150,86 b | 279,57 | 429,66 | 245,36 b |
| Ponteiro | | | | |
| Ureia | 172,53 a | 241,59 a | 349,20 | 297,01 a |
| Nitrato de amônio | 110,70 b | 276,94 a | 374,25 | 208,77 b |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O N é um elemento que apresenta um ciclo biogeoquímico complexo por ser naturalmente encontrado no ambiente em grande diversidade de compostos químicos, apresenta múltiplas transformações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. A ciclagem do N no solo é caracterizada por uma série de reações químicas e microbianas, que podem resultar em baixa eficiência de uso pelos vegetais do N dos fertilizantes nitrogenados, especialmente em situações em que a mineralização líquida de N é elevada (MARIANO et al., 2013). Além disso, existe a contribuição da FBN na cana-de-açúcar, Herridge et al. (2008) mencionam que a contribuição média brasileira de FBN em cana-de-açúcar seria de 40 kg N ha⁻¹, calculando-se a média de 20% do N assimilado pela planta. Urquiaga et al. (2011), avaliando seis variedades comerciais de cana-de-açúcar, observaram que as mesmas foram capazes de obter pela FBN de 40,2 a 64,0 kg ha⁻¹ de N.

O N-orgânico, complexado na matéria orgânica do solo (MOS), pode representar cerca de 95% do N total do solo; por isso, é natural que a disponibilidade do elemento às plantas seja baixa (CANTARELLA, 2007). Ácidos nucleicos, bases nitrogenadas, proteínas, peptídeos, ureia, quitina, quitobiose peptidoglicano são exemplos de formas conhecidas de N-orgânico encontradas na natureza. Entretanto, a grande parte do N-orgânico encontra-se em formas complexas, muitas delas desconhecidas, sendo apenas uma pequena parte desse material mineralizado. Do N-orgânico total encontrado nos solos, apenas cerca de 2 a 5% são mineralizados por ano, mas de acordo com o tipo de solo este valor pode representar o suficiente no suprimento exigido pelas culturas agrícolas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Diversos autores comprovaram que a

principal fonte de N às culturas é derivada da MOS, por meio então, do processo da mineralização (OLK, 2008; DOURADO-NETO et al., 2010; FRANCO et al., 2011). Desse modo, estudos em solos agrícolas podem ajudar a desvendar os caminhos percorridos pelo N, evitando perdas e garantindo um manejo mais adequado do nutriente nos agrossistemas.

6.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a fonte ureia são superiores ao nitrato de amônio no acúmulo de nitrogênio e na quantidade de N proveniente do nativo do solo na dose de 30 e 180 kg ha⁻¹ de N.

O aproveitamento do nitrogênio é de 60,17% (133,90 kg ha⁻¹) para a fonte nitrato de amônio e de 44,95% (110,18 kg ha⁻¹) para a ureia.

A dose de N que proporciona os melhores resultados é de 136,87 e 137,92 kg ha⁻¹ de N, respectivamente para nitrato de amônio e ureia.

As respostas em porcentagem e quantidade de nitrogênio na cana-de-açúcar proveniente do fertilizante aumenta com o aumento da dose de N.

A quantidade de N na planta proveniente do nitrogênio nativo do solo é maior que o N oriundo do fertilizante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); a Usina Raízen unidade Jataí, GO; ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) ESALQ/USP, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e ao IF Goiano – Campus Rio Verde, GO, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 81:650-662, 1989.

- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass Spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996, p.1-46.
- BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA T. T.; CORRECHEL, V.; CASSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, v.116, n.12, p.235-248, 2003.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355-412.
- CARVALHO, E. X. Ciclagem de nitrogênio e estimativa de biomassa de cana-de-açúcar em Pernambuco. 2015, 71p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos de FAO: Irrigação e Drenagem, 33, Campina Grande: UFPB, 306p, 1994.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 197p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M. V; CONG, P. T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, p. 139–152, 2010.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.
- FORTES, C.; OCHEUZE TRIVELIN, P. C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; JUNQUEIRA FRANCO, H. C.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen

fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 88-96, 2013.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 579–590, 2010.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 25, n. 6, p. 32–36, 2007.

FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 121, p. 29-41, 2011.

GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66. 2010.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recuperação do nitrogênio (^{15}N) da ureia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.621-630, 2003.

HOLST, J.; BRACKINA, R.; ROBINSONA, N.; LAKSHMANANB, P.; SCHMIDTA, S. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugarcane cultivation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 155, p. 16–26, 2012.

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625 p.

- OLIVEIRA, A. C. **Interação da adubação nitrogenada e molíbdica em cana-de-açúcar**. 2012. 96p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.
- OLIVEIRA, E. C. A. DE; FREIRE, OLIVEIRA, F. J.; R. I. DE; OLIVEIRA, A. C. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. vol.42 n°3, 2011.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.34, n.4, p.1343-1352, 2010.
- OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. Quantifying soil mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, p. 893-904, 2013.
- PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013
- PRASERTSAK, P.; FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; SAFFIGNA, P.G.; PROVE, B.G.; REGHENZANI, J.R. Effects of fertilizer placement on nitrogen loss from sugarcane in tropical Queensland. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, Dordrecht, v. 2, p. 229-239, 2002.
- RICHARDSON, A.E.; BAREA, J.M.; MCNEILL, A.M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 321, p. 305–339, 2009.
- ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; VINALL, K.; SOPER, F.; HOLST, J.; GAMAGE, H.; PAUNGFUO-LONHIENNE, C.; RENNENBERG, H.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. **PLoS ONE**, São Francisco, v. 6, p. e19045, 2011.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A. C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 27, p. 1–8, 2010.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Artmed, 2013. 954 p

- TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2011. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.
- TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FORTES, C.; FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, E. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**. v. 70, p. 345-352, 2013.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e ureia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.
- VIEIRA-MEGDA, M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; MEGDA, M.M.; KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 101, p. 241-257, 2015.
- VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, por restrições hídricas e pela disponibilidade de nutrientes nos solos. Devemos considerar que as cultivares atualmente plantadas no país e as que vêm sendo desenvolvidas mostram-se potencialmente mais produtivas. Isso mostra a necessidade de elaboração de recomendações de adubações da cultura. Ao mesmo tempo, a expansão da cultura canieira no Brasil, geralmente em solos de baixa fertilidade natural, é de fundamental importância manter um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas.

Os fatos apontam para a necessidade de reavaliações das exigências nutricionais da cana-de-açúcar plantada na atualidade, assim como de doses de nutrientes nas adubações nos diferentes ciclos produtivos. Tais fatos também são importantes pela intensificação da mecanização dos canaviais, com destaque para novas tecnologias como o uso da irrigação e da fertirrigação, o plantio mecanizado de gemas e plântulas, na colheita sem despalha a fogo (cana crua), que deixa quantidades significativas de resíduos vegetais no solo, que contêm nutrientes passíveis de serem disponibilizados nos ciclos agrícolas subsequentes e ao mesmo tempo, ameniza o problema do déficit hídrico pela cobertura do solo proporcionado pela palha.

Nas situações, em que, não se tem resposta a adubação nitrogenada, é interessante avaliar se ocorre diminuição no estoque de C e N do solo nas parcelas controle com o passar dos anos, uma vez que o N exportado pelos colmos não está sendo repostado pela adubação. São necessários esforços para unir e avaliar mais informações acerca da fertilidade do solo e a microbiologia, principalmente no que diz respeito a bactérias promotoras de crescimento, além do desenvolvimento de tecnologias voltadas a novos produtos, fontes de nitrogênio de liberação lenta, para permitir maior aproveitamento do N e menores perdas no sistema solo-planta.

CONCLUSÃO GERAL

As variáveis biométricas que apresenta os maiores incrementos com o aumento da adubação nitrogenada é o número de folha verde (24,60%), número de folha total (48,46%) e a área foliar (35,54%). A dose de adubação nitrogenada que proporciona os maiores incrementos nas variáveis biométricas é correspondente a 144,65 kg ha⁻¹ de N. A fonte de adubação nitrogenada que mais respondeu foi a ureia.

As variáveis que apresenta o maior acúmulo de biomassa com o aumento da adubação nitrogenada é a matéria seca de folha verde (40,33%), matéria seca de colmo (35,39%) e a matéria seca total de parte aérea (32,94%). A dose de adubação nitrogenada que proporciona o maior incremento de biomassa é correspondente a 168,67 kg ha⁻¹ de N.

As variáveis produtividade de colmo, açúcares totais recuperáveis, rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool apresentou incremento médio de (25,23%), correspondente a 142,54 kg ha⁻¹ de N.

Os resultados obtidos para a fonte ureia são superiores ao nitrato de amônio no acúmulo de nitrogênio e na quantidade de N proveniente do N nativo do solo. A dose média de nitrogênio que promoveu o maior acúmulo, recuperação, aproveitamento e contribuição no N-nativo do solo foi de 136,87 e 137,92 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia. O aproveitamento médio do nitrogênio é de 60,17 e 44,95%, respectivamente para nitrato de amônio e ureia. O nitrogênio nativo do solo foi a principal fonte de N na cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta.