

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

APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO ( $^{15}\text{N}$ ) DA UREIA  
PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA

Autor: Alefe Viana Souza Bastos  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Coorientadores: Dr. Edson Cabral da Silva;  
Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares.

Rio Verde - GO  
Fevereiro - 2017

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

APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO ( $^{15}\text{N}$ ) DA UREIA  
PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA

Autor: Alefe Viana Souza Bastos  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE 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 Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO  
Fevereiro - 2017

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

B327a Bastos, Alefe Viana Souza  
Aproveitamento de nitrogênio (<sup>15</sup>N) da ureia pela  
cana-de-açúcar irrigada / Alefe Viana Souza Bastos. Rio  
Verde, 2017.

68 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias -  
Agronomia) Instituto Federal Goiano, Campus Rio  
Verde, 2017.

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira;  
Coorientadores: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares  
e Edson Cabral da Silva.

1. cana-planta. 2. cana-soca. 3. eficiência de utilização do  
nitrogênio. 4. nitrogênio residual. 5. *Sacharum* spp. I.  
Título. II. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

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

APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO ( $^{15}\text{N}$ ) DA UREIA PELA  
CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA

Autor: Alefe Viana Souza Bastos  
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

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

APROVADA em, 22 de fevereiro de 2017.

Dr. Edson Cabral da Silva  
Avaliador interno  
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Leonardo Nazário S. dos Santos  
Avaliador externo  
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Presidente da banca  
IF Goiano/RV

À minha amada Karina Borges de Souza;  
À minha irmã Jéssica Viana Cabral;  
Ao meu orientador Marconi Batista Teixeira;  
À minha Avó Ana Paz do Nascimento e ao meu avô  
(*in memoriam*) Bento Ribeiro Viana e Carlos Eduardo Lourenço Siqueira

**OFEREÇO**

A Deus Pai todo poderoso criador do céu e da terra;  
Aos meus pais Leonide de Souza Bastos e Dilvani Viana do Nascimento.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sua misericórdia e compaixão, permitindo a cada dia uma nova chance de viver e lutar para alcançar meus objetivos; a Nossa Senhora Aparecida, por me proteger de todo mal e me acudir em todos os momentos de angústia e desespero; e a comunidade da Igreja Divino Pai Eterno, foi nesse meio que aprendi o valor da minha fé.

A toda minha família, em especial Pai, Mãe, Irmã e Avós, que nunca mediram esforços para que eu seguisse firme nos estudos, e proporcionaram a mim educação, um lar confortante e seguro, onde sempre busquei minhas forças e inspirações para seguir em frente com todos os projetos de vida.

À minha amada Karina Borges de Souza, apesar de difíceis, aceitar minhas escolhas, sempre me apoiando, dedicando seu tempo e atenção para que meus sonhos fossem alcançados e a elaboração deste trabalho fosse possibilitada.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, exemplo de pessoa em todos os quesitos, faltando adjetivos que descrevesse tamanhas qualidades, que mesmo com muitos afazeres, sempre doou seu tempo para me ajudar sendo essencial para elaboração e condução deste trabalho.

Ao meu coorientador e um dos melhores pesquisadores que já conheci o Dr. Edson Cabral da Silva, pelos ensinamentos e paciência durante todo o tempo de mestrado, que de forma ilustre me apoiou e foi parte primordial para realização deste trabalho.

Ao meu coorientador o Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares, que com sua imensa sabedoria e discernimento foi responsável por me ensinar tudo o que hoje sei sobre experimentação agrícola, também sendo fundamental na realização deste trabalho.

Ao meu amigo, companheiro de trabalho e aluno de iniciação científica Murilo Vieira da Silva, que durante maior parte de condução do estudo, esteve presente e me auxiliou em todas as avaliações e na realização do mesmo, tornando parte fundamental deste trabalho.

A todos integrantes e ex integrantes do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do IFgoiano/RV, Cláudio Carvalho, Fernando Cabral, Diego Alves, Severino Antônio, Tayná Ramos, Janniny Cabral, Suiaine Ridan, Camylla Vieira, Vitor Marques, Wilker Moraes, Álisson Macendo, Fabiano Bastos, Fernando Nobre, Nelmício Furtado e José Joaquim, que me ajudaram na condução do experimento.

Aos meus amigos, colegas de graduação e mestrado, Murilo Martins Bernardino, Renato Campos de Oliveira, João Paulo Ribeiro Teodoro, Fernando Luiz Cabral e Diego Henrique Mendes Costa, por todo apoio, ensinamentos, e momentos de alegria, que foram muito importantes para que eu pudesse concluir este trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde, por me proporcionar a oportunidade de cursar o mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, e também por ceder o espaço físico e materiais para a realização da pesquisa.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), por custear parte dos materiais e análises realizadas no trabalho.

E também ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela disponibilização de bolsas de apoio financeiro e todo o financiamento deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Alefe Viana Souza Bastos, nascido em Rio Verde - GO em 25 de outubro de 1993. Concluiu o ensino médio no Colégio Estadual do Sol, na cidade de Rio Verde / GO. Graduado como Bacharel em Agronomia no ano de 2015, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. Foi aluno de iniciação científica no laboratório de anatomia vegetal por um ano (2012/2013) e no laboratório de hidráulica e irrigação por dois anos (2013/2015). Em 2015 ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, linha de pesquisa, Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água. Em Fevereiro de 2017, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.



*Fortaleza, Sabedoria, Ciência,  
Conselho, Entendimento,  
Piedade e Temor de Deus*

## ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	xiv
INTRODUÇÃO.....	18
OBJETIVOS .....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
CAPÍTULO I – RENDIMENTO DE COLMOS E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO ( <sup>15</sup> N) DA UREIA PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-PLANTA.....	25
Resumo .....	25
Abstract .....	26
1.1 Introdução .....	28
1.2 Material e métodos.....	29
1.3 Resultados e discussão .....	35
1.4 Conclusões .....	41
1.5 Referências bibliográficas.....	42
CAPÍTULO II – APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO RESIDUAL ( <sup>15</sup> N) DA UREIA, PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NO CICLO DE PRIMEIRA SOQUEIRA .....	44
Resumo.....	44
Abstract .....	45
2.1 Introdução .....	47
2.2 Material e métodos.....	48
2.3 Resultados e discussão .....	54
2.4 Conclusões .....	64
2.5 Referências bibliográficas.....	65
CONCLUSÃO GERAL.....	68

## ÍNDICE DE TABELAS

Página

### **CAPÍTULO I - PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-PLANTA, DETERMINADO COM A TÉCNICA DA DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE <sup>15</sup>N**

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química inicial do solo + esterco bovino, utilizado nos vasos .....	30
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para massa seca (MSR), nitrogênio acumulado (NAR), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%NpfR), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfR), aproveitamento do nitrogênio (APR), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoR) e relação NR/NP dos resíduos culturais da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN) .....	36
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para massa seca (MSC), nitrogênio acumulado (NAC), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%NpfC), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfC), aproveitamento do nitrogênio (APC), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoC) e relação NC/NP dos colmos da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN) .....	37
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância para massa seca (MSP), nitrogênio acumulado (NAP), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfP), aproveitamento do nitrogênio (APP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoP) da parte aérea da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN) .....	39

**CAPÍTULO II - PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO RESIDUAL PELA CANA-DE- AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-SOCA, DETERMINADO COM A TÉCNICA DA DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE  $^{15}\text{N}$**

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química inicial do solo + esterco bovino, utilizado nos vasos, de acordo com as doses residuais de N .....	49
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química inicial do solo + esterco bovino, utilizado nos vasos, de acordo com as doses residuais de N .....	49
<b>Tabela 3.</b> Produtividade (P), nitrogênio acumulado (NA), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QN <sub>pf</sub> ), aproveitamento do nitrogênio (AP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QN <sub>pso</sub> ) e percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%N <sub>pf</sub> ) dos colmos, resíduos culturais e parte aérea da cana-de-açúcar; relação de N-fertilizante no colmo comparado com o da parte aérea (NFC/NFP) e relação de N-fertilizante nos resíduos culturais comparado com o da parte aérea (NFR/NFP) .....	54
<b>Tabela 4.</b> Produtividade de colmos (PC), massa seca (MSC), nitrogênio acumulado (NAC), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QN <sub>pfC</sub> ), aproveitamento do nitrogênio (APC), relação de N-residual no colmo comparado com o da parte aérea (NC/NP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QN <sub>psoC</sub> ) dos colmos da cana-de-açúcar (primeira soca) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses residuais de nitrogênio (DRN) .....	56
<b>Tabela 5.</b> Resumo da análise de variância para massa seca (MSR), nitrogênio acumulado (NAR), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QN <sub>pfR</sub> ), aproveitamento do nitrogênio (APR), relação do N residual no resíduo cultural comparado com o da parte aérea (NR/NP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QN <sub>psoR</sub> ) dos resíduos culturais da cana-de-açúcar (primeira soca) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses residuais de nitrogênio (DRN) .....	58
<b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância para massa seca (MSP), nitrogênio acumulado (NAP), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QN <sub>pfP</sub> ), aproveitamento do nitrogênio (APP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QN <sub>psoP</sub> ) da parte aérea da cana-de-açúcar (primeira soca) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN) .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO I - PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-PLANTA, DETERMINADO COM A TÉCNICA DA DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE <sup>15</sup>N</b>	
<b>Figura 1.</b> Precipitação pluvial acumulada para o primeiro ciclo da cana-de-açúcar, em função dos dias após o transplântio (outubro de 2013 a agosto de 2014). Fonte: Estação Meteorológica da UNIRV - Universidade de Rio Verde .....	30
<b>Figura 2.</b> Esquema ilustrativo do sistema de irrigação e tratamentos disposto na área experimental .....	31
<b>CAPÍTULO II - PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO RESIDUAL PELA CANA-DE- AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-SOCA, DETERMINADO COM A TÉCNICA DA DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE <sup>15</sup>N</b>	
<b>Figura 1.</b> Precipitação pluvial acumulada para a cana-planta e o segundo ciclo da cana-de-açúcar, em função dos dias após o transplântio e corte (outubro de 2013 a maio de 2015). Fonte: Estação Meteorológica da UNIRV - Universidade de Rio Verde .....	48
<b>Figura 2.</b> Produtividade de colmos da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas .....	56
<b>Figura 3.</b> Quantidade de N no colmo da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, submetida a diferentes níveis de reposições hídricas (A) e doses residuais de N (B) ....	57

<b>Figura 4.</b> Aproveitamento do N pelos colmos da cana-de-açúcar, submetida a diferentes doses residuais de N .....	58
<b>Figura 5.</b> Massa seca dos resíduos culturais da cana-de-açúcar, submetida a diferentes doses residuais de N .....	59
<b>Figura 6.</b> N acumulado (A) e quantidade de N nos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do solo e outras fontes, em função da reposição hídrica dentro de cada nível da dose residual de N (C); N acumulado (B) e quantidade de N nos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do solo e outras fontes, em função da dose residual de N dentro de cada nível de reposição hídrica (D) .....	60
<b>Figura 7.</b> Quantidade de N nos resíduos culturais proveniente do N-residual (A) e aproveitamento do N pelos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, em função da reposição hídrica dentro de cada nível da dose residual de N (C); Quantidade de N nos resíduos culturais proveniente do N-residual (B) e aproveitamento do N pelos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, em função da dose residual de N dentro de cada nível da reposição hídrica (D) .....	61
<b>Figura 8.</b> Quantidade de N na parte aérea proveniente do N-residual em função da reposição hídrica dentro de cada nível de dose residual de N (A); Quantidade de N na parte aérea proveniente do N-residual em função da dose residual de N dentro de cada nível de reposição hídrica (B); Nitrogênio acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar em função da reposições hídrica; Quantidade de N na parte aérea proveniente de outras fontes, em função da reposição hídrica (D) .....	63
<b>Figura 9.</b> Aproveitamento do N pela parte aérea da cana-de-açúcar, em função da reposição hídrica dentro de cada nível de dose residual de N (A) e Aproveitamento do N pela parte aérea da cana-de-açúcar, em função da dose de N residual dentro de cada nível de reposição hídrica (B) .....	64

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
N	nitrogênio	
P	fósforo	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ca	cálcio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg	magnésio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
K	potássio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
S	enxofre	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Al	alumínio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H	hidrogênio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mo	molibdênio	mg dm <sup>-3</sup>
B	boro	mg dm <sup>-3</sup>
Cu	cobre	mg dm <sup>-3</sup>
Mn	manganês	mg dm <sup>-3</sup>
Zn	zinco	mg dm <sup>-3</sup>
Fe	ferro	mg dm <sup>-3</sup>
CTC	capacidade de troca catiônica	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
M. O.	matéria orgânica	g dm <sup>-3</sup>
pH	potencial de hidrogênio	%
V	saturação por bases	%
v/v	volume por volume	-
spp	espécies	-
FBN	fixação biológica de nitrogênio	-
MPB	muda pré-brotada	-
DAT	dias após o transplântio	-
DAC	dias após o corte	-
RH	reposição hídrica	%
CC	capacidade de campo	L
MS	massa seca	t ha <sup>-1</sup>
DN	dose de nitrogênio	kg ha <sup>-1</sup>
DRN	dose residual de nitrogênio	kg ha <sup>-1</sup>
%Npf	percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante	%
NA	nitrogênio acumulado	kg ha <sup>-1</sup>
AP	aproveitamento do nitrogênio	%
QNpf	quantidade de nitrogênio proveniente	kg ha <sup>-1</sup>

---

	do fertilizante	
QNpso	quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes	kg ha <sup>-1</sup>
C	colmo	-
R	resíduos culturais	-
P	parte aérea	-
PC	produtividade de colmos	t ha <sup>-1</sup>
L	litros	-
ha	hectares	-
g	gramas	-
t	toneladas	-
kg vaso <sup>-1</sup>	quilograma por vaso	-
t ha <sup>-1</sup>	toneladas por hectare	-
kg	quilograma	-
mm	milímetros	-
%	porcentagem	-
m	metros	-
n <sup>o</sup>	número	-
cm	centímetros	-
cm <sup>2</sup>	centímetro quadrado	-
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico	-
mmolc dm <sup>-3</sup>	milimol por decímetro cúbico	-
mg dm <sup>-3</sup>	miligrama por decímetro cúbico	-

---



## RESUMO

BASTOS, ALEFE VIANA SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2017. **Aproveitamento de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da ureia pela cana-de-açúcar irrigada.** Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira. Coorientadores: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares e Dr. Edson Cabral da Silva.

A adubação nitrogenada em cultivos de cana-de-açúcar é amplamente empregada para proporcionar maiores rendimentos, nesse sentido, o maior conhecimento acerca do aproveitamento do N em diferentes ciclos da cana-de-açúcar possibilitará reduzir os custos 21sem afetar negativamente o rendimento da cultura. O estudo foi dividido em dois experimentos, o primeiro objetivou avaliar a produtividade de colmos e o aproveitamento do N da ureia em diferentes partes da planta de cana-de-açúcar (cana-planta), submetida a diferentes níveis de reposições hídricas e de adubações nitrogenadas, com uso da técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$ . O segundo experimento teve objetivo semelhante, porém foram utilizados os mesmos níveis de reposições hídricas e o residual de adubações nitrogenadas em primeira soqueira. Os experimentos foram conduzidos na região sudoeste do Estado de Goiás - Brasil, em área experimental pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, no período de outubro de 2013 a maio de 2015, em vasos plásticos dispostos a céu aberto. Os vasos foram preenchidos com 110 litros de uma mistura de solo, coletado de um Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado e esterco bovino curtido, numa proporção 3:1 v/v, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições, analisado em parcelas subdivididas 3 x 3. Os tratamentos compreenderam a combinação de três níveis de reposições hídricas (75, 50 e 25% da capacidade de campo) e três doses de N (60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, equivalentes para vaso),

na forma de ureia enriquecida em  $^{15}\text{N}$ . Para as variáveis produtivas, o nível 0 de adubação foi acrescentado aos tratamentos. A irrigação foi manejada pelo método de lisímetro de drenagem. O plantio da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) foi realizado em tubetes contendo vermiculita como substrato, com emprego do método de muda pré-brotada (MPB). No primeiro experimento o aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral não foi influenciado pelas diferentes doses aplicadas e foi, em média, 20,5% da quantidade aplicada; as doses de N não influenciaram a produtividade de colmos, porém influenciou a massa seca de resíduos culturais; o solo e outras fontes de nitrogênio foram os principais responsáveis por fornecer N para a cana-de-açúcar, independentemente da dose de N-mineral aplicada. Para o segundo experimento, o aproveitamento de nitrogênio residual foi maior na dose residual de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  associada à reposição hídrica de 75%; Independentemente da dose de N aplicada, o aproveitamento do N residual pela primeira soqueira foi menor que 7,06% da quantidade aplicada inicialmente à cana-planta. A proporção de N-residual alocado nos resíduos culturais e colmos foi de 1:1, porém a produtividade de massa seca do colmo foi o dobro da produtividade de massa seca dos resíduos culturais. Menores reposições hídricas associada as maiores doses residuais de N favoreceram o acúmulo de nitrogênio na planta independente da fonte.

**PAVAVRAS-CHAVES:** cana-planta, cana-soca, eficiência de utilização do nitrogênio, nitrogênio residual, *Sacharum* spp.

## ABSTRACT

BASTOS, ALEFE VIANA SOUZA. Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, February 2017. **Nitrogen recovery from urea by irrigated sugarcane.** Advisor: Dr. Marconi Batista Teixeira. Co-advisor: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares and Dr. Edson Cabral da Silva.

Nitrogen fertilization in sugarcane crops is widely employed to provide higher yields, so that to reduce costs without negatively affecting the crop yield, is necessary more knowledge about the recovery of N in different cycles of sugarcane of sugar submitted to the various abiotic factors that are found in the field. The study was divided into two experiments, the first aimed to evaluate the sugarcane yield and the use of N-urea by different parts of the sugarcane plant (plant cane), submitted to different rate of water replacements and fertilizer nitrogenous, using the isotopic dilution technique  $^{15}\text{N}$ . The second experiment had the same objective, but the crop was submitted to different levels of water and residual nitrogen fertilization at first ratoon. The experiment was conducted in the State of Goiás Southwest region, in an area belonging to the Federal Institute Goiano, Campus Rio Verde, the period between October 2013 to may 2015, in plastic pots willing to open sky. The pots were filled with 110 liters of a mixture of soil collected from a Haplortox Cerrado, and cattle manure in the ratio 3:1 v / v, respectively. The experimental design was a randomized complete block design with three replications analyzed in split plot 3 x 3. The treatments consisted in the combination of three rate of water replacement (75, 50 and 25% of field capacity) and three nitrogen rates (60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> equivalent to vessel) in the form of urea enriched  $^{15}\text{N}$ . For productive variables, the level 0 of fertilizer was added to treatment.

Irrigation was managed by drainage lysimeter method. The planting of sugarcane (variety IACSP 95-5000) was carried out in plastic tubes containing vermiculite as substrate, with use of the method of pre-sprouted seedlings (PSS). In the first experiment the use of the mineral fertilizer nitrogen was not influenced by different doses applied and the recovery was on average 20.5% of the applied amount; the residual nitrogen rate don't influenced the sugarcane yield and higher yields of stems were achieved by higher water replacements. Soil and biological nitrogen fixation were the main sources of N to sugarcane, regardless of dose N-mineral applied. For the second experiment, the nitrogen recovery was higher in the residual dose of 60 kg ha<sup>-1</sup> and water replacement 75%; regardless of N rate applied, the use of N-residual was less than 7.06% of the quantity initially applied to the sugarcane plant. The proportion of N-residual allocated in the cultural and culms residues were 1:1, but the productivity of dry stem matter was twice the dry matter yield of crop residues. Minor water replacement favored the accumulation of nitrogen in general.

**KEY WORDS:** efficiency of use, irrigation, residual fertilization, *Sacharum* spp., urea.

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de origem asiática, mais precisamente da região central de Nova Guiné e Indonésia, considerada como uma planta alógama, com ciclo semiperene e altamente rústica (RHEIN et al., 2015). Seu cultivo é amplamente difundido pelo mundo e o Brasil é o maior produtor, de modo que a cana-de-açúcar tem como destinação principal a produção de açúcar e etanol. De acordo com a última estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (dez/2016), para a safra 2016/2017 a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil será de aproximadamente 9,11 milhões de hectares e a produção a ser alcançada será de 694,54 milhões de toneladas tendo um aumento de 5,3% em área plantada comparado com a última safra. O estado de Goiás é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do país, sendo responsável por 10,4% do total, com produtividade média de 71,90 t ha<sup>-1</sup>.

Atualmente, no Brasil a produtividade média da cana-de-açúcar é de aproximadamente 76 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016), ficando bem abaixo do potencial máximo que pode ser alcançado pela cultura. De acordo com Sattolo (2016), provavelmente a baixa produtividade, deve-se à expansão da cultura para áreas de baixa e média fertilidade associado às restrições hídricas, ao impacto causado pela intensificação da mecanização na produtividade e restrições orçamentárias que limitaram o investimento na renovação e manutenção dos canaviais. Silva et al. (2008) também relatam que o cultivo é realizado em diversos tipos de solos e ambientes, sob a influência de vários fatores abióticos que são peculiares a cada região, proporcionando diferentes níveis de produção. Para que cana-de-açúcar alcance rendimentos máximos, é necessária umidade adequada durante todo o ciclo, principalmente no período vegetativo. Dependendo do clima, as necessidades hídricas da cana-de-açúcar variam entre 1500 e 2500 mm

distribuídos de maneira uniforme durante o seu ciclo (DOOERENBOS & KASSAN, 1979). Como em algumas regiões do Centro-Oeste brasileiro prevalecem baixas precipitações ao longo de vários meses, principalmente no período de perfilhamento e crescimento vegetativo da cana-de-açúcar, tornando-se essencial a utilização de novas técnicas, como a irrigação suplementar, complementar ou de salvamento, para a melhoria do cultivo (CINTRA et al., 2008).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pela cana-de-açúcar, e em geral, estudos realizados com esta cultura a fim de avaliar adubação com N são realizados considerando a cana-de-açúcar como uma cultura anual (PENATTI, 2014). Vários estudos recentes demonstram a importância de avaliar mais de um ciclo consecutivo, pois nutrientes aplicados em diferentes ciclos da cana-de-açúcar podem interagir e produzir resultados mais precisos. Outro fator que favorece estudos de diferentes ciclos da cana-de-açúcar é a resposta da cultura a adubação nitrogenada, não sendo um consenso dentre muitos autores, porém já é reconhecido que os ciclos de soqueiras são mais responsivos a esse nutriente quando se compara com a cana-planta (URQUIAGA et al., 2012; TEODORO et al., 2013; SCHULTZ et al., 2015).

Nas últimas décadas o isótopo  $^{15}\text{N}$  foi amplamente empregado em estudos agrônômicos, a fim de esclarecer e fornecer dados relativos ao ciclo do N no sistema solo-planta. De acordo com Alves et al. (2006) o isótopo  $^{15}\text{N}$  têm tido ampla aplicação na pesquisa científica, não somente por ser estável e, por isso, não oferecer riscos no manuseio, mas, porque é um isótopo de um elemento de grande importância para o crescimento vegetal e possui um dos ciclos mais complexos nos sistemas agrícolas.

Com o uso do  $^{15}\text{N}$  vários estudos conseguiram resultados esclarecedores para muitas das variações que são encontradas no aproveitamento do N e na resposta da cana-de-açúcar submetida a adubações nitrogenadas, segundo Hauck (1973), é possível observar diversas variações em experimentos que utilizam a técnica com  $^{15}\text{N}$ , de forma que essas variações dependem do tipo de solo, espécie de planta, estação de ano, regime pluviométrico, qualidade, tipo do fertilizante empregado, forma de aplicação e também da técnica experimental utilizada.

O aproveitamento do N pela cana-de-açúcar está ligado diretamente com as perdas do nutriente pelo sistema solo-planta, de modo que as perdas são variáveis, devido o manejo e o ambiente interferirem nas diversas vias de entrada e saída do nutriente nesse sistema, que de acordo com Novais et al. (2007) as principais fontes de N no solo tem como origem a mineralização da matéria orgânica, adubação e fixação

biológica de nitrogênio (FBN); já as principais perdas são por volatilização da amônia, desnitrificação e lixiviação. Dentre esses fatores ambientais a disponibilidade hídrica se destaca, de acordo com Castro et al. (2016) esse fator afeta todos os processos de entrada e saída de N no solo. 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. Por esse motivo, são necessários estudos no sentido de compreender essa interação de forma que se alcance maiores produtividades, visando à sustentabilidade e menores custos de produção.

Mediante o exposto, fundamentou-se as seguintes hipóteses: que a disponibilidade adequada de água no solo associada a elevadas doses de N na forma de ureia, exerce um incremento na produtividade da cana-de-açúcar, e influencia o aproveitamento de nitrogênio proveniente da ureia; e o nitrogênio aplicado via ureia em cana-planta associado à quantidades adequadas de água no solo pode ser aproveitado e proporcionar incrementos de produtividade de massa seca e colmos no primeiro ciclo de soqueira da cana-de-açúcar.

## OBJETIVOS

### **Geral**

Avaliar diferentes níveis de adubação nitrogenada e reposição hídrica em cana-de-açúcar, a fim de determinar a produtividade de colmos, massa seca e o aproveitamento do N aplicado via adubação no ciclo de cana-planta e o aproveitamento do N-residual no ciclo de primeira soqueira.

### **Específicos**

- I. Quantificar o N acumulado por diferentes partes da cana-de-açúcar;
- II. Quantificar o N proveniente do fertilizante acumulado por diferentes partes da cana-de-açúcar;
- III. Determinar a recuperação do N da ureia pela cana-planta e o residual do ciclo precedente pela primeira soqueira;
- IV. Estimar a contribuição do N “nativo” do solo e outras fontes, para a nutrição da cana-de-açúcar;
- VI. Avaliar a produtividade de colmos, ponteiros e massa seca, para estimar a dose de N associada a irrigação, que seja mais eficiente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; AQUINO, A.; ASSIS, R. **Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta**. Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, Embrapa-SCT, p. 343-350, 2006.

CASTRO, S. G. Q.; DECARO JR, S. T.; FRANCO, H. C. J.; MAGALHÃES, P. S. G.; GARSIDE, A.; MUTTON, M. A. Best Practices of Nitrogen Fertilization Management for Sugarcane Under Green Cane Trash Blanket in Brazil. **Sugar Tech**, p. 1-6. 2016.

CINTRA, J. E. V.; FERREIRA, G. H.; BRASIL, R. P. C. do. Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar (*saccharum ssp.*) em regiões com déficit hídrico. **Nucleus**, Edição Especial, 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Segundo levantamento 2016/2017. Brasília: CONAB v.3. 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33), 1979.

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. 1ª ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66, 2010.

HAUCK, R.D. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies—past use and future needs. **Journal of Environmental Quality**, v. 2, n. 3, p. 317-327, 1973.

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

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni. p. 347, 2014.

RHEIN, A. F.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KÖLLN, O. T.; SILVA, M. D. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 209-214, 2016.

SATTOLO, T. M. S. **Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: efeitos na fertilidade do solo, transformações microbianas e estoques de carbono e nitrogênio**. 2016. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.

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, 2015. 52 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos 298).

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, n. 6, p. 620-627, 2008.

TEODORO I. T.; NETO J. D.; SOUZA J. L.; LIRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de Produtividade da Cana-de-

açúcar em Função de Níveis de Irrigação e Adubação Nitrogenada. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 387, 2013.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F. de; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M. e; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S. de; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and <sup>15</sup>N natural abundance data for the contribution of biological N<sub>2</sub> fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and soil**, v. 356, n. 1-2, p. 5-21, 2012.

## **CAPÍTULO I – RENDIMENTO DE COLMOS E APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO (<sup>15</sup>N) DA UREIA PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA, NO CICLO DE CANA-PLANTA**

(Normas de acordo com a revista Annals of the Brazilian Academy of Sciences)

**Resumo:** A cana-de-açúcar é a cultura mais promissora entre as produtoras de biocombustíveis renováveis, cujas maiores limitações à produtividade estão relacionadas principalmente à disponibilidade adequada no solo de água e de nutrientes minerais, em especial nitrogênio (N). Os objetivos deste estudo foram avaliar a produtividade de colmos e o aproveitamento do N da ureia em diferentes partes da planta de cana-de-açúcar (cana-planta), submetida a diferentes níveis de reposições hídricas e adubação nitrogenada, com uso da técnica de diluição isotópica de <sup>15</sup>N. O experimento foi conduzido na região Sudoeste do Estado de Goiás, em área experimental pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, no período de outubro de 2013 a agosto de 2014, em vasos plásticos dispostos a céu aberto. Os vasos foram preenchidos com 110 litros de uma mistura de solo, coletado de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, e esterco bovino curtido, numa proporção 3:1 v/v, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições, analisado em parcelas subdivididas 3 x 3. Os tratamentos compreenderam a combinação de três níveis de reposições hídricas (75, 50 e 25% da capacidade de campo) e três doses de N (60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, equivalentes para vaso), na forma de ureia enriquecida em <sup>15</sup>N. Para as variáveis produtivas, o nível 0 de adubação foi acrescentado aos tratamentos. A irrigação foi manejada pelo método de

lisímetro de drenagem. O plantio da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) foi realizado em tubetes contendo vermiculita como substrato, com emprego do método de muda pré-brotada (MPB). A dose de N não influenciou a produtividade de colmos da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, e as precipitações pluviométricas foram suficientes para suprir a necessidade hídrica da cultura. O aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral não foi influenciado pelas diferentes doses aplicadas e foi, em média, 20,5% da quantidade aplicada. A mistura solo + esterco bovino foi a principal fonte de N para a cana-de-açúcar, independentemente da dose de N mineral aplicada.

**Palavras-chave:** Cerrado, eficiência de utilização do nitrogênio, Latossolo Vermelho, *Sacharum* spp.

## **STALK YIELD AND NITROGEN ( $^{15}\text{N}$ ) RECOVERY FROM UREA BY IRRIGATED SUGARCANE, DURING THE CANE-PLANT CYCLE**

**Abstract:** Sugarcane is the most promising crop among renewable biofuel producers, whose major limitations to productivity are related mainly to the adequate availability of water and mineral nutrients, especially nitrogen (N). The objectives of this study were to evaluate the stalks yield and the use of urea N in different parts of the sugarcane (cane-plant) plant, submitted to different levels of water replacement and nitrogen fertilization, using the technique of  $^{15}\text{N}$  isotope dilution. The experiment was conducted in the Southwest region of the State of Goiás - Brazil, in an experimental area belonging to the Goiano Federal Institute, Rio Verde Campus, from October 2013 to August 2014, in plastic vases arranged in the open air. The pots were filled with 110 liters of a soil mix, collected from a Cerrado dystrophic Red Latosol, and tanned bovine manure, in a 3: 1 v / v ratio, respectively. The experimental design was a randomized block design, with three replications, analyzed in 3 x 3 subdivided plots. The treatments included the combination of three levels of water replacement (75, 50 and 25% of field capacity) and

three N doses (60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup>, pot equivalents), in the form of <sup>15</sup>N-enriched urea. For the productive variables, level 0 of fertilization was added to the treatments. Irrigation was managed by the drainage lysimeter method. The planting of sugarcane (variety IACSP 95-5000) was carried out in tubes containing vermiculite as substrate, using pre-sprouted seedling (MPB) method. The dose of N did not influence the yield of sugarcane stalks in the cane-plant cycle, and rainfall was sufficient to supply the water requirement of the crop. The nitrogen recovery of the mineral fertilizer was not influenced by the different doses applied and was, on average, 20.5% of the applied amount. Soil + bovine manure mixture was the main source of N for sugarcane, regardless of the dose of mineral N applied.

**Key words:** Cerrado, efficiency of nitrogen utilization, Red Latosol, *Sacharum* spp..

## 1.1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é atualmente uma cultura de extrema importância socioeconômica, considerada uma das principais *commodities* agrícolas. É cultivada em regiões de clima tropical e subtropical, utilizada principalmente para a produção de açúcar e biocombustível, de modo que o Brasil é o maior produtor dessa cultura e de seus derivados.

O nitrogênio (N) em cana-de-açúcar tem sido bastante estudado, pelo benefício e as diferentes respostas da cultura associadas principalmente ao manejo, ciclo, variedade e tipo de solo. Segundo Franco et al. (2015), a adubação nitrogenada no ciclo de cana-planta muitas vezes é deixada de lado, tendo em vista que a resposta a esse nutriente é mais visível em cana-soca; porém, as produtividades de soqueiras subsequentes e a longevidade do canavial podem ser bastante prejudicadas quando a FBN e as reservas do nutriente no solo não são suficientes para suprir a necessidade da cultura no primeiro ciclo.

Com o crescente cultivo de cana-de-açúcar colhida mecanicamente, têm-se o aumento da matéria orgânica proveniente da palhada (folhas secas, ponteiros e pedaços de colmo), que afetam de diferentes maneiras a dinâmica do N no solo, de modo que um dos principais benefícios desse material é fornecimento de nitrogênio de origem orgânica através da mineralização. Apesar do N proveniente da matéria orgânica, o uso do N mineral é amplamente difundido no Brasil, sendo que o fertilizante mais utilizado é a ureia. Porém, sabe-se que o aproveitamento de N-mineral pela cana-de-açúcar fica entre 20 e 40% do total aplicado, o que afeta negativamente o custo de produção e o ambiente (Mariano et al., 2012; Vieira Megda et al., 2015).

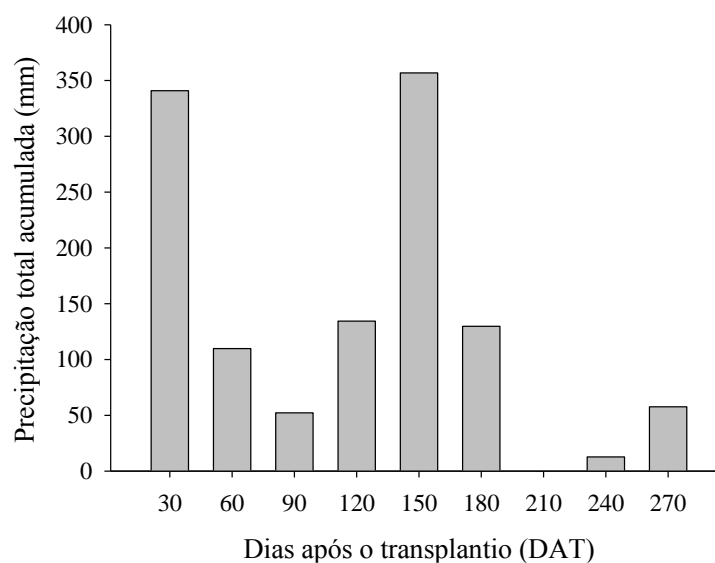
Para se alcançar elevadas produtividades com menores custos e impactos ao ambiente, é necessária perfeita interação entre os fatores abióticos, de manejo e o potencial genético da variedade. De acordo com Rhein et al. (2016), entre os vários fatores abióticos, a deficiência de água deve ser destacada, por ser comum em canaviais e aos efeitos nocivos causados no desenvolvimento das plantas, principalmente através da redução da expansão celular. Para suprir a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, a irrigação é uma prática fundamental que promove diversos benefícios diretos e indiretos para a planta; no entanto, quando se trata de irrigação e adubação nitrogenada mal manejada, existe grande potencial de perdas, especialmente por meio de lixiviação do nitrato (Roberts, 2008).

O conhecimento do aproveitamento ou eficiência de uso ou recuperação de N pela cana-de-açúcar irrigada pode ajudar a compreender a dinâmica do nutriente no sistema solo-planta. Assim, considerando a hipótese de que a dose de nitrogênio associada à quantidade de água no solo influencia a produtividade e a quantidade de N absorvida pela planta de cana-de-açúcar, o presente estudo teve como objetivos avaliar a produtividade de colmos e o aproveitamento do N da ureia pela parte aérea (colmos, folhas e ponteiros) da cana-de-açúcar (cana-planta), submetida a diferentes níveis de reposições hídricas e adubações nitrogenadas, com uso da técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$ .

## **1.2 Material e métodos**

O experimento foi conduzido na região sudoeste do Estado de Goiás, município de Rio Verde, no período compreendido de outubro de 2013 a agosto de 2014, em vasos plásticos com dimensões de 0,6 m (diâmetro superior) x 0,46 m (diâmetro inferior) x 0,5 m (altura), preenchidos com pedra brita nº 2 (0,05 metros; no fundo do vaso) e uma mistura de solo com esterco bovino acima da camada de brita, compondo uma camada de 0,45 m de profundidade. Os vasos foram dispostos a céu aberto em uma área experimental pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, situada na latitude 17°48'28" S e longitude 50°53'57" O, com altitude média de 720 metros. O clima da região é classificado (Köppen) como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações pluviométricas variam de 1.500 a 1.800 mm anuais, cujos dados de precipitação total acumulada durante o ciclo de cana-planta são descritos na Figura 1.





**Figura 1** - Precipitação pluvial acumulada para o primeiro ciclo da cana-de-açúcar, em função dos dias após o transplântio (outubro de 2013 a agosto de 2014). Fonte: INMET (Estação Meteorológica da UNIRV - Universidade de Rio Verde).

No experimento, foi utilizado solo coletado de um Latossolo Vermelho distrófico, fase cerrado (EMBRAPA, 2013), misturado com esterco bovino curtido, numa proporção 3:1 v/v, respectivamente. As características químicas do substrato (solo + esterco) utilizados nos vasos são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química inicial do substrato (solo + esterco bovino), utilizado no experimento

pH	M. O.	P	Ca	Mg	K	S	Al	H + Al
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
6,9	51	305	139	33	14,5	70	<1	12
SB	CTC	Cu	Fe	Mn	Zn	B	m	V
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	mg dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	%
186,9	198,8	4,8	38	8,6	9,8	0,33	0	94

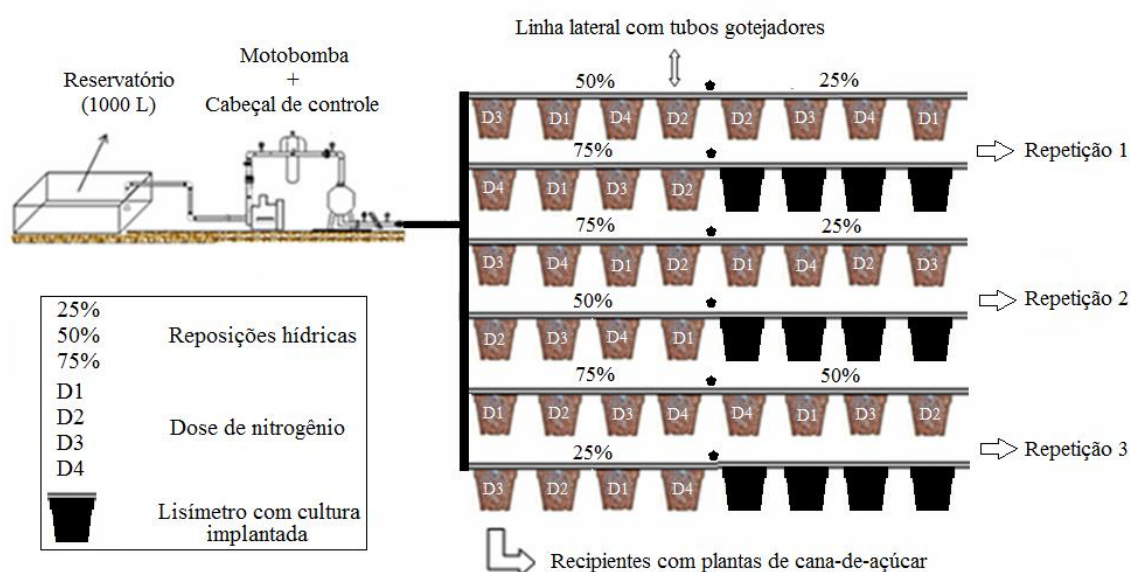
P – fósforo; S – enxofre; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H – hidrogênio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; M.O. – matéria orgânica; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco; m – saturação por alumínio.

Foi utilizado método de mudas pré-brotadas (MPB) para implantação do experimento, utilizando tubetes e vermiculita como substrato. Após o estabelecimento das mudas (30 dias após o plantio) foi realizado o transplântio para os vasos. A variedade utilizada foi a IACSP95-5000, que possui como característica alto potencial produtivo, rusticidade, precocidade, indicada para ambientes favoráveis (A1 – C2) porte

muito ereto, ótima brotação de soqueira, bom perfilhamento e fechamento de entrelinhas, resistência as principais doenças e não apresentando tombamento e florescimento.

### 1.2.1 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições, analisado em parcelas subdivididas 3 x 3. Os tratamentos compreenderam a combinação de três níveis de reposições hídricas (75, 50 e 25% da capacidade de campo) e três doses de nitrogênio, enriquecidos com  $^{15}\text{N}$  (60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, equivalentes para vaso, representados por DN60, DN120 e DN180, respectivamente), na forma de ureia, enriquecidos com  $^{15}\text{N}$ , e foi utilizado a área do vaso para cálculo das doses aplicadas; as parcelas compreenderam os níveis de reposições hídricas (RH) e as subparcelas as doses de nitrogênio (DN). Para as variáveis produtivas houve o acréscimo da DN0 (sem aplicação de N), tornando-se parcelas subdivididas 3 x 4.



**Figura 2** - Esquema ilustrativo do sistema de irrigação e tratamentos disposto na área experimental.

### 1.2.2 Adubações

Todas as adubações com N (ureia) foram realizadas de forma manual, dividida em uma adubação de plantio e duas coberturas realizadas aos 45 e 90 dias após o transplante (DAT). A ureia utilizada nas adubações possuía abundância de 2,00% do isótopo  $^{15}\text{N}$ , sendo esse valor descontado a abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (0,366).

Os macronutrientes potássio ( $K_2O$ ), sob a forma de cloreto de potássio e fósforo ( $P_2O_5$ ) sob a forma de superfosfato triplo, foram aplicados de forma igualitária nas doses de 150 e 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Não foi necessário fazer nenhuma aplicação de micronutrientes via fertilização, seguindo as recomendações descritas para a cultura (Sousa e Lobato, 2004).

### 1.2.3 Reposição hídrica

A irrigação foi manejada pelo método de lisímetro de drenagem, e foram utilizados quatro vasos para cada repetição, totalizando doze vasos de referência (lisímetros), sendo que esses também tiveram a cultura implantada. A capacidade de campo (CC) calculada foi de 25 L, sendo que a cada dois dias (turno de rega), essa quantidade de água era aplicada nos lisímetros e após a coleta do volume drenado dos vasos, os dados eram aplicados na equação 1.

$$CC = AP - AD \quad (1)$$

Em que:

CC = Capacidade de campo;

AP = Volume de água aplicada;

AD = Volume de água drenada.

A quantidade de água aplicada nos vasos foi sempre proporcional à quantidade suficiente para elevar a umidade aos respectivos tratamentos de 75, 50 e 25% à da capacidade de campo. Ao fim do experimento, foram contabilizadas a lâmina líquida de água aplicada ao solo (via sistema de irrigação), durante o período experimental. As lâminas de água para as RH de 75, 50 e 25% foram de: 486,75 mm, 324,5 mm e 162,25 mm, respectivamente. A irrigação foi realizada utilizando gotejadores, de fluxo turbulento com vazão de 1,65 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 1,0 bar.

### 1.2.4 Variáveis analisadas

Ao longo do experimento foram coletadas todas as folhas secas e por ocasião da colheita determinou-se a massa fresca de toda a parte aérea da planta e a produtividade de colmos (kg vaso<sup>-1</sup>). Posteriormente foram coletadas amostras de colmos e resíduos culturais, secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, determinando assim a massa seca. Para não superestimar a

produtividade de colmos e massa seca (MS) pela pequena área do vaso, utilizou-se a área ocupada pelo dossel das plantas e os espaçamentos entre cada parcela, obtendo a área de 1,595 m<sup>2</sup>, então essa área foi utilizada extrapolar os resultados de kg vaso<sup>-1</sup> para t ha<sup>-1</sup>. O material vegetal foi então triturado em moinho tipo Wiley, identificado, hermeticamente lacrado e posteriormente encaminhado ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, para as determinações da concentração de N no material vegetal (g kg<sup>-1</sup>) e %Átomos de <sup>15</sup>N em excesso no material vegetal (%), em espectrômetro de massa (IRMS) acoplado a analisador automático 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, conforme metodologia descrita em Barrie e Prosser (1996).

Foram determinadas as seguintes variáveis: massa seca (MS), nitrogênio acumulado (NA), percentagem de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (%Npf), quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (QNpf), aproveitamento de nitrogênio do fertilizante (AP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpso) e relação do nitrogênio acumulado nos resíduos culturais e colmos comparado com o N acumulado na parte aérea da planta (NR/NP; NC/NP); todas as variáveis foram determinadas para os resíduos culturais (ponteiro + palhada), colmo e parte aérea da planta (colmo + resíduos culturais). A produtividade foi determinada somente para os colmos (PC).

O aproveitamento do N proveniente do fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar, a quantidade de N acumulado e quantidade de N proveniente de outras fontes foram calculados utilizando a sequência de equações:

a) Nitrogênio acumulado pelo material vegetal (NA, kg ha<sup>-1</sup>)

$$NA = N \times MS \quad (2)$$

em que:

N = Concentração de nitrogênio no material vegetal (g kg<sup>-1</sup>);

MS = Massa seca (t ha<sup>-1</sup>).

b) Percentagem de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (%Npf)

$$\%Npf = \frac{\% \text{Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no material vegetal}}{\% \text{Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

% átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso no material vegetal = % Átomos de  $^{15}\text{N}$  na planta subtraindo-se a abundância natural  $^{15}\text{N}$  (0,3663%);

% átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso no fertilizante = % Átomos de  $^{15}\text{N}$  no fertilizante subtraindo a abundância natural  $^{15}\text{N}$  (0,3663%).

c) Quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (QNpf, kg ha<sup>-1</sup>)

$$\text{QNpf} = \frac{\% \text{Npf} \times \text{NA}}{100} \quad (4)$$

em que:

NA = nitrogênio acumulado pelo material vegetal (kg ha<sup>-1</sup>);

%Npf = percentagem de N no material vegetal proveniente do fertilizante.

d) Aproveitamento do nitrogênio pelo material vegetal, proveniente do fertilizante (AP, %)

$$\text{AP} = \frac{\text{QNpf}}{\text{QNA}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

QNpf = quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>);

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante marcado (kg ha<sup>-1</sup>).

e) Quantidade de N no material vegetal proveniente do solo e outras fontes (QNpso, kg ha<sup>-1</sup>)

$$\text{QNpso} = \text{NA} - \text{QNpf} \quad (7)$$

em que:

QNpf = quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>);

Para o cálculo da relação N acumulado nos resíduos culturais / N acumulado na parte aérea (NR/NP, %) e N acumulado nos colmos / N acumulado na parte aérea (NC/NP, %), utilizou-se as equações 8 e 9 respectivamente.

$$NR/NP = \frac{NAR \times 100}{NAP} \quad (8)$$

$$NC/NP = \frac{NAC \times 100}{NAP} \quad (9)$$

em que:

NAR = nitrogênio acumulado nos resíduos culturais (kg ha<sup>-1</sup>);

NAC = nitrogênio acumulado nos colmos (kg ha<sup>-1</sup>);

NAP = nitrogênio acumulado na parte aérea (kg ha<sup>-1</sup>);

### 1.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando Teste F foi significativo, realizou-se a comparação de médias pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade, para todos os fatores. Utilizou-se o software estatístico SISVAR-ESAL<sup>®</sup>.

### 1.3 Resultados e discussão

Na Tabela 2, estão presentes as variáveis relacionadas aos resíduos culturais (RC) da cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta, de forma que analisando o efeito individual dos fatores, nota-se que as diferentes reposições hídricas não influenciaram nenhuma das variáveis. As doses de nitrogênio influenciaram a quantidade de massa seca dos resíduos culturais (MSR), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%NpfR) e a quantidade de N nos resíduos culturais proveniente do solo e outras fontes QNpsoR. A interação entre esses fatores também não influenciou nenhuma variável.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para massa seca (MSR), nitrogênio acumulado (NAR), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%NpfR), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfR), aproveitamento do nitrogênio (APR), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoR) e relação NR/NP dos resíduos culturais da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		MSR	NAR	%NpfR	QNpfR	QNpsoR	APR	NR/NP
RH	2	10,90 <sup>ns</sup>	203,33 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	5,54 <sup>ns</sup>	167,31 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	60,10 <sup>ns</sup>
Bloco	2	15,09 <sup>ns</sup>	2318,17 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	6,55 <sup>ns</sup>	2079,53 <sup>ns</sup>	7,82 <sup>ns</sup>	31,23 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	16,01	605,85	2,59	3,94	563,82	1,23	27,08
DN	2	70,98 <sup>**</sup>	1377,52 <sup>ns</sup>	131,81 <sup>**</sup>	363,98 <sup>**</sup>	1355,93 <sup>ns</sup>	8,80 <sup>ns</sup>	7,90 <sup>ns</sup>
RH x DN	4	3,66 <sup>ns</sup>	799,48 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	6,63 <sup>ns</sup>	706,04 <sup>ns</sup>	5,89 <sup>ns</sup>	19,02 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	7,84	803,02	8,84	25,85	894,33	14,25	19,11
CV a (%)	-	17,68	14,67	23,77	17,69	15,17	12,27	10,14
CV b (%)	-	12,37	16,89	43,90	45,29	19,10	41,67	8,52
DN		t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	%	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	----- % -----		
60		19,87 b	157,87 a	03,05 b	04,75 b	153,12 a	7,92 a	51,55 a
120		25,48 a	181,65 a	06,56 b	11,46 a	170,19 a	9,55 a	50,27 a
180		22,57 ab	163,83 a	10,70 a	17,46 a	146,37 a	9,70 a	52,09 a
Médias gerais		22,64	167,79	6,75	11,22	156,56	9,06	51,30
DMS		3,52	35,66	3,74	6,4	37,63	4,75	5,50

<sup>\*\*</sup>Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

Em relação à MSR, a DN de 120 kg ha<sup>-1</sup> se destacou, sendo que estatisticamente foi igual à DN de 180 kg ha<sup>-1</sup> e diferente da DN de 60 kg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado demonstra que para alcançar maiores produtividades de massa seca de resíduos vegetais, nestas condições de estudo, a melhor dose visando menor gasto de N-fertilizante e maior rendimento é a dose média de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Porém, do ponto de vista comercial, ao utilizar elevadas doses de N para aumentar a MSR não traz grandes benefícios, já que o produto de interesse é o colmo (dreno de energia) e não as folhas (fonte de energia).

Para a quantidade de N proveniente do fertilizante acumulado nos RC, as DN de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> foram superiores; já para a percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante a DN de 180 kg ha<sup>-1</sup> se destacou com maior acúmulo de N proveniente da ureia, evidenciando que ao aumentar a quantidade de nitrogênio aplicada ao solo, os resíduos culturais concentram mais N em sua massa seca. Analisando a percentagem de N que os RC acumularam em relação ao N acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar (NR/NP), é notável sua grande demanda por N, já que em torno de 50% fica acumulado em seus tecidos (Tabela 2). Essa informação é de grande valia para a reposição do estoque de N no solo, pela matéria orgânica proveniente da colheita sem queima, pois

nesse método de colheita 50% do N acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar pode ser reciclado a partir da mineralização dos resíduos culturais.

O aproveitamento do N do fertilizante mineral pelos resíduos culturais (APR) não foi influenciado por nenhum fator, corroborando com o estudo realizado por Franco et al. (2015), que ao estudarem a recuperação de fertilizantes nitrogenados aplicados em cana-de-açúcar em três diferentes municípios do estado de São Paulo notaram que em dois municípios o aproveitamento não foi influenciado pelo aumento das doses de nitrogênio em cana-planta. Os valores encontrados pelos autores e seus colaboradores para o aproveitamento de N (ureia) pelos resíduos culturais variaram entre 7,3 a 14,3%, cujos valores são bem próximos aos encontrados neste estudo, que foi em média de 9,06%.

Na Tabela 3, estão listadas as variáveis relacionadas ao colmo da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos foram similares aos dos resíduos culturais, para as reposições hídricas e interação entre os fatores não houve diferença, já as doses de N influenciaram somente as variáveis QNpfC e %NpfC.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância para massa seca (MSC), nitrogênio acumulado (NAC), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%NpfC), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfC), aproveitamento do nitrogênio (APC), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoC) e relação NC/NP dos colmos da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		PC	MSC	NAC	%NpfC	QNpfC	QNpsoC	APC	NC/NP
RH	2	2142,68 <sup>ns</sup>	50,16 <sup>ns</sup>	1931,82 <sup>ns</sup>	3,77 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	1908,79 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	60,10 <sup>ns</sup>
Bloco	2	570,83 <sup>ns</sup>	13,66 <sup>ns</sup>	259,86 <sup>ns</sup>	1,74 <sup>ns</sup>	7,52 <sup>ns</sup>	197,31 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	31,23 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	664,05	82,14	1429,24	4,35	12,64	1272,68	10,84	27,08
DN	2	1205,70 <sup>ns</sup>	161,78 <sup>ns</sup>	2889,56 <sup>ns</sup>	303,73 <sup>**</sup>	632,33 <sup>**</sup>	3800,80 <sup>ns</sup>	12,53 <sup>ns</sup>	7,90 <sup>ns</sup>
RH x DN	4	1296,03 <sup>ns</sup>	44,87 <sup>ns</sup>	213,82 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>	2,53	229,32 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	19,02 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	777,41	71,28	1218,32	5,17	8,01	1285,49	3,66	19,11
CV a (%)	-	16,59	20,43	23,62	22,75	25,07	24,46	28,78	10,69
CV b (%)	-	17,95	19,03	21,81	24,80	19,96	24,58	16,73	8,98
DN		----- t ha <sup>-1</sup> -----		kg ha <sup>-1</sup>	%	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		----- % -----	
0		145,67 a	-	-	-	-	-	-	-
60		150,94 a	42,60 a	149,73 a	04,26 c	06,32 c	143,45 a	10,53	48,44 a
120		171,43 a	49,21 a	180,73 a	07,66 b	13,22 b	167,50 a	11,02	49,73 a
180		153,30 a	41,31 a	149,61 a	15,59 a	23,00 a	126,61 a	12,78	47,90 a
Média geral		155,33	44,37	160,04	9,17	14,18	145,86	11,44	48,70
DMS		33,16	10,62	43,92	2,86	3,56	45,11	2,41	5,5

<sup>\*\*</sup>Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.



Analisando os colmos, observa-se que ocorreu o maior acúmulo de N-fertilizante à medida que se aumenta a quantidade aplicada, tanto para a QNpfC quanto para %NpfC o maior valor foi alcançado com aplicação da DN de 180 kg ha<sup>-1</sup>, seguidos das doses de 120 e 60 kg ha<sup>-1</sup>. (Tabela 3).

Como mencionado anteriormente, de todo o N acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar em torno de 50% alocaram nos resíduos culturais, e os outros 50% foram alocados nos colmos (Tabela 3). Vieira-Megda et al. (2015), ao estudarem o N extraído pela cana-de-açúcar, encontraram um valor médio para acúmulo do nutriente em raízes de 11,7% em relação ao N extraído pela planta. Assim considerando valores próximos a esse, pode-se admitir que aproximadamente 45% de todo N extraído pela cana-de-açúcar tem como dreno os colmos e essa mesma percentagem é concentrada nos resíduos culturais.

Nas condições do presente estudo, com teor de matéria orgânica no solo aproximadamente de 5% e boa disponibilidade hídrica, em média a cana-planta conseguiu acumular em sua parte aérea 327,83 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo que desse total 163,91 kg ha<sup>-1</sup> foram alocados pelos colmos e a mesma quantidade potencialmente pode retornar para o solo através dos resíduos culturais que permanecem sobre o solo, em condições de colheita de cana crua. No entanto, é importante destacar que a palhada de cana de açúcar apresenta alta relação C/N, em torno de 100/1; assim, o processo de mineralização pela microbiota quimioorganotrófica (heterotrófica), pode ser lento; contudo o N contido nos restos culturais é de grande importância para a formação da matéria orgânica do solo, que constitui o principal componente para a manutenção do potencial produtivo do solo em longo prazo.

A produtividade de colmos não foi influenciada pelos diferentes níveis de adubação nitrogenada e nem pelas reposições hídricas, corrobora com autores que relatam a ausência de resposta da cana-planta à aplicação de N-fertilizante, como Araújo et al. (2001) e Franco et al. (2015). O alto teor de matéria orgânica de ciclos subsequentes incorporado ao solo, maior vigor de raízes associada a maiores absorções de N nativo do solo e a FBN são os fatores mais utilizados para explicar a ausência de resposta da cana-planta ao N-fertilizante. Quanto às reposições hídricas, os resultados demonstram que as condições climáticas, sobretudo a precipitação pluvial (Figura 1), foram suficientes para expressar o potencial genético de produção da variedade cultivada, pois a distribuição de chuvas foi favorável para o desenvolvimento da cultura.

Quanto ao efeito dos fatores sobre a parte aérea da cana-planta, houve diferença significativa somente para a dose de nitrogênio, que influenciou a quantidade de N proveniente do fertilizante, seguindo os mesmos resultados encontrados para os resíduos culturais e colmos (Tabela 4).

**Tabela 4** - Resumo da análise de variância para massa seca (MSP), nitrogênio acumulado (NAP), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QNpfP), aproveitamento do nitrogênio (APP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoP) na parte aérea da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		MSP	NAP	QNpsoP	QNpfP	APP
RH	2	54,07 <sup>ns</sup>	1868,54 <sup>ns</sup>	1996,25 <sup>ns</sup>	4,48 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
Bloco	2	21,58 <sup>ns</sup>	3859,33 <sup>ns</sup>	3244,84 <sup>ns</sup>	28,10 <sup>ns</sup>	18,58 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	145,04	3164,67	2955,93	9,15	8,33
DN	2	402,89 <sup>ns</sup>	8135,34 <sup>ns</sup>	9649,79 <sup>ns</sup>	1947,84 <sup>**</sup>	36,53 <sup>ns</sup>
RH x DN	4	51,78 <sup>ns</sup>	1343,64 <sup>ns</sup>	1343,47 <sup>ns</sup>	6,99 <sup>ns</sup>	7,63 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	107,41	3261,38	3649,12	48,05	24,58
CV a (%)	-	17,97	17,16	17,98	11,91	14,08
CV b (%)	-	15,47	17,42	19,98	27,28	24,19
DN		t ha <sup>-1</sup>	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			%
60		62,46 a	307,64 a	296,58 a	11,07 c	18,45
120		74,70 a	362,40 a	337,68 a	24,69 b	20,57
180		63,88 a	313,45 a	292,98 a	40,46 a	22,48
Média geral		67,01	327,83	302,41	25,41	20,50
DMS		13,04	43,92	76,00	8,72	6,24

<sup>\*\*</sup>Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

Apesar da planta acumular mais N proveniente do fertilizante à medida que se aumentou as doses aplicadas do nutriente, isso não influenciou no N acumulado e na produção de massa seca, possivelmente, pelo fato que o estoque de N do solo e a FBN foram suficientes para suprir a necessidade da cultura. De acordo com Urquiaga et al. (2012) a contribuição da FBN para a cana-de-açúcar é em média de 40 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, admitindo esse valor mais os valores encontrados para o N proveniente do fertilizante, a contribuição do N-nativo do solo mais o oriundo de outras fontes foi em torno de 251,34 kg ha<sup>-1</sup>, 237,72 kg ha<sup>-1</sup> e 221,95 kg ha<sup>-1</sup>, para as doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando esses acúmulos, de todo o N acumulado na parte aérea 13,23% foram provenientes da FBN, 78,37% do solo e 8,4% do fertilizante aplicado. Essa estimativa é sustentada por Sousa e Lobato (2004), relatando que um solo na

região do cerrado com 5% de matéria orgânica potencialmente pode mineralizar em torno de 150 a 250 kg ha<sup>-1</sup> de N.

De acordo com Franco et al. (2011), devido algumas características da cultura, como o longo período que permanece em campo e um sistema radicular abundante, o N do solo é eficientemente utilizado pela cana-de-açúcar, de forma que existem diversos estudos utilizando fertilizantes marcado com <sup>15</sup>N que mostram que o N mais absorvido pela cana-de-açúcar vem do solo, já que a contribuição dos fertilizantes nitrogenados é baixa, em comparação com o total de N acumulado na planta.

Quanto a ausência de resposta às doses de N no rendimento de MSP e MSC mesmo com aumento de N-acumulado nos tecidos vegetais, infere-se que com o incremento de N-fertilizante em cana-planta, a cultura absorve menos o N de outras fontes por um pequeno período, possivelmente pelo N-fertilizante estar mais prontamente disponível e ser mais fácil acesso quando comparado com o N fixado da atmosfera. Porém, com o crescimento e desenvolvimento da cultura a FBN e a absorção de N nativo do solo, são retomadas para suprir a necessidade da planta. Essa condição é reafirmada pelo fato que houve incremento na MSR com as DN (Tabela 2), isso implica em maior absorção de N-fertilizante no início do ciclo da cana-de-açúcar fase em que existe a predominância de folhas e o N-fertilizante está disponível para ser absorvido e assimilado aos resíduos culturais. A disponibilidade do N-fertilizante diminui ao longo do tempo, através das perdas e sua imobilização pelos microrganismos, contribuiu então para maiores absorções do N-nativo do solo e a FBN ao longo do ciclo, de forma que essas fontes serão em grande parte responsáveis pela manutenção nutricional dos colmos. A menor %NpfR quando comparado com a %NpfC não desqualifica essa justificativa, proporcionalmente, a massa seca dos resíduos culturais concentraram mais que o dobro de N comparado aos colmos.

O aproveitamento do N-fertilizante pela parte aérea da cana-planta (colmo + folhas e ponteiros) foi de 20,50% (Tabela 4), considerado baixo quando comparado com literaturas que citam um aproveitamento médio de 20-40% pela cana-de-açúcar é considerado baixo, vale lembrar que esse intervalo é bastante variável dependendo do ciclo, assim muitos estudos acabam generalizando a eficiência do N-fertilizante para a cultura da cana-de-açúcar, devido a não discriminação do ciclo de cultivo. Comparando-se o aproveitamento de 20,50% com estudos em cana-planta como o de Franco et al. (2011) e Vieira-Megda et al. (2015) que encontraram o aproveitamento de até 10 e 13,6%, respectivamente, para a cultura em seu primeiro ciclo, esse valor se torna

bastante expressivo. Esse aproveitamento superior supostamente deve-se às boas condições climáticas locais, principalmente relacionada a disponibilidade hídrica e ao uso da irrigação que segundo Malavolta (2006), a aplicação de ureia seguido de irrigação reduz praticamente a zero as perdas de N por volatilização.

No geral, o baixo aproveitamento do N-fertilizante deve-se principalmente, pelas diferentes formas de entrada e saída do solo tais como mineralização do N da palha (matéria orgânica), alta taxa de imobilização pelos microrganismos e perdas no sistema principalmente quando as fontes que contêm ureia são aplicadas à superfície do solo. De acordo com Sousa e Lobato (2004), a grande percolação de água no perfil de solos associada à baixa CTC natural de Latossolos Vermelhos pode provocar lixiviação de nutrientes como o N na forma de nitrato (forma de N inorgânico mais predominante no solo). Com base em dados experimentais, é estimado um índice de lixiviação de nitrato entre 1 e 1,5 mm através do perfil do solo, por mm de água aplicada em solos argilosos (Suhet et al 1985).

O presente estudo corrobora com Franco et al. (2015), aplicando doses de N em três regiões do estado de São Paulo notaram diferença significativa para o aproveitamento pela parte aérea da cana-planta em apenas uma das doses, e os resultados que não se diferenciaram variaram de 19,5 a 24,7%, valores próximos ao encontrado neste estudo de 20,5%. Isso respalda ainda mais a justificativa de que o ambiente é o principal fator que influencia a eficiência de recuperação ou aproveitamento do N de fertilizantes. Vale ressaltar que os valores de aproveitamento do N da ureia do presente estudo, não considera o N do Sistema radicular, representando, portanto, uma subestimativa do total recuperado.

#### **1.4 Conclusões**

As doses de N influenciaram somente a massa seca dos resíduos culturais, a percentagem e a quantidade de N na planta.

Os níveis de reposição hídrica não influenciaram a produtividade de colmos e resíduos culturais (folhas e ponteiros) e nem a recuperação de N do fertilizante.

O aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral não foi influenciado pelas diferentes doses aplicadas e foi, em média, 20,5% da quantidade aplicada.

O solo e outras fontes foram os principais fornecedores de N para a cana-de-açúcar, independentemente da dose de N-mineral aplicada.

### 1.5 Referências bibliográficas

- ARAÚJO, A. M. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Mineralização do C e do N em amostras armazenadas de solo e cultivadas com cana-de-açúcar, ao longo de dez anos, com e sem fertilização nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 43-53, 2001.
- 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, p. 1-46, 1996.
- EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, RJ. p. 306, 2013.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. D. A.; FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O. Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 6, p. 528-534, 2015.
- 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 in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 29-41, 2011.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 638, 2006.
- MARIANO, E; TRIVELIN, P. C. O.; VIEIRA-MEGDA, M. X.; LEITE, J. M.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 411-419, 2012.
- RHEIN, A. F.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KÖLLN, O. T.; SILVA, M. D. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 209-214, 2016.
- ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 3, p. 177-182, 2008.
- SOUSA, M. G. de & LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 416p., 2004.

- SUHET, A. R.; PERES, J. R. R.; VARGAS, M. A. T.; GOEDERT, W. J. **Nitrogênio.**  
**In: Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.** EMBRAPA-CPAC / São Paulo: Nobel, p. 167-202. 1986.
- 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 <sup>15</sup>N natural abundance data for the contribution of biological N<sub>2</sub> fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 356, n. 1-2, p. 5–21, 2012.
- VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E.; LEITE, J. M.; FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; MEGDA, M. M.; TRIVELIN, P. C. O. (2015). Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 241-257, 2015.

## **CAPÍTULO II – APROVEITAMENTO DE NITROGÊNIO RESIDUAL (<sup>15</sup>N) DA UREIA, PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NO CICLO DE PRIMEIRA SOQUEIRA**

(Normas de acordo com a revista *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*)

**Resumo:** Apesar de muitas perdas, o nitrogênio pode se manter no solo por mais de um ciclo, assim podendo beneficiar a cultura da cana-de-açúcar devido a sua longevidade. Os objetivos deste estudo foram avaliar a produtividade de colmos e o aproveitamento do N-residual da ureia por diferentes partes da planta de cana-de-açúcar (primeira soqueira), submetida a diferentes níveis de reposições hídricas e residual de adubações nitrogenadas, com uso da técnica de diluição isotópica de <sup>15</sup>N. O experimento foi conduzido na região Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, em área experimental pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, foi dividido em efeito imediato e residual de N, os tratamentos com dose residual de nitrogênio foram implantados em cana-planta (2013/2014), a fim de determinar o N-residual aplicado à cana-planta que poderia ser utilizado pelo primeiro ciclo de cana-soca (2014/2015), em vasos plásticos dispostos a céu aberto. Os vasos foram preenchidos com 110 litros de uma mistura de solo, coletado de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, e esterco bovino curtido, numa proporção 3:1 v/v, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições, analisado em parcelas subdivididas 3 x 3. Os tratamentos compreenderam a combinação de três níveis de reposições hídricas (75, 50 e 25% da capacidade de campo) e três doses de N-residual (60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, equivalentes para vaso), na forma de ureia enriquecida em <sup>15</sup>N, aplicado à cana-planta, no ciclo precedente. Para as variáveis produtivas o nível

O de adubação foi acrescentado aos tratamentos. A irrigação foi manejada pelo método de lisímetro de drenagem. O plantio da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) foi realizado em tubetes contendo vermiculita como substrato, com emprego do método de muda pré-brotada (MPB). As doses residuais de N influenciaram a produtividade de colmos e as maiores produtividades de colmos foram alcançadas pelas maiores reposições hídricas. O aproveitamento de nitrogênio foi maior na dose residual de 60 kg ha<sup>-1</sup> N aplicado inicialmente à cana-planta associado a reposição hídrica de 75%; independentemente da dose de N aplicada, o aproveitamento do N residual foi menor do que 7,06% da quantidade aplicada inicialmente à cana-planta. A proporção de N-residual alocado nos resíduos culturais e colmos foram de 1:1, porém a produtividade de massa seca do colmo foi o dobro da produtividade de massa seca dos resíduos culturais. Menores reposições hídricas favoreceram o acúmulo de nitrogênio em geral.

**Palavras-chave:** Cerrado, eficiência de utilização do nitrogênio, Latossolo Vermelho, produtividade de colmos, *Sacharum* spp.

## **REDIDUAL NITROGEN (<sup>15</sup>N) RECOVERY FROM UREA, BY IRRIGATED SUGARCANE IN THE FIRST RATOON**

**Abstract:** Despite many losses, nitrogen can remain in the soil for more than one cycle, thus benefiting the sugarcane crop due to its longevity. The objectives of this study were to evaluate the stalks yield and the recovery of residual N-urea by different parts of the sugarcane plant (first ratoon), submitted to different levels of water and residual nitrogen fertilization, using Of the <sup>15</sup>N isotopic dilution technique. The experiment was conducted in the Southwest region of the State of Goiás, Brazil, in an experimental area belonging to the Goiano Federal Institute, Rio Verde Campus, was divided in immediate and residual effect of N, treatments with residual nitrogen dose were implanted in cane-plant (2013-2014) in order to determine the residual N applied to the cane-plant that could be used by the first cycle of cane-soca (2014/2015), in plastic vessels arranged in the open. The pots were filled with 110 liters of a soil mix, collected



from a Cerrado dystrophic Red Latosol, and tanned bovine manure, in a ratio of 3: 1 v / v, respectively. The experimental design was a randomized block design, with three replications, analyzed in 3 x 3 subdivided plots. The treatments included the combination of three levels of water replacement (75, 50 and 25% of field capacity) and three N doses -residual (60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup>, pots equivalents) in the form of 15N-enriched urea applied to cane-plant in the preceding cycle. For the productive variables, the level 0 of fertilization was added to the treatments. Irrigation was managed by the drainage lysimeter method. The planting of sugarcane (variety IACSP 95-5000) was carried out in tubes containing vermiculite as substrate, using pre-sprouted seedling (PSS) method. Residual N levels influenced stalk yield and higher shoot yields were achieved by higher water replacements. Nitrogen recovery was higher in the residual dose of 60 kg ha<sup>-1</sup> N initially applied to the plant cane associated with 75% water replacement; Regardless of the applied N dose, the N recovery was less than 7.06% of the amount applied initially to the plant cane. The proportion of N-residual allocated in crop residues and stalks was 1: 1, but the dry mass yield of the stalk was twice the dry mass yield of the crop residues. Lower water replacement associated with higher residual N rates favored the accumulation of nitrogen in the plant independent of the source.

**Key words:** Cerrado, efficiency of nitrogen utilization, Red Latosol, *Sacharum* spp., stalk yield.

## 2.1 Introdução

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene e amplamente cultivada no Brasil. É considerada uma das maiores commodities agrícolas, de forma que para se alcançar elevadas produtividades é necessário a interação entre fatores genéticos e ambientais. Dentro do fator ambiental, a nutrição de plantas e a disponibilidade hídrica são primordiais para o cultivo, sendo que o nitrogênio é o principal nutriente estudado em cana-de-açúcar. A irrigação é uma das tecnologias necessárias para se alcançar o potencial produtivo da cultura de cana-de-açúcar (Farias et al., 2008) e o manejo adequado da irrigação é de fundamental importância para uso racional da água e obtenção de maior produtividade, qualidade, redução nas perdas dos nutrientes e consequentemente de custos (Padrón et al., 2015).

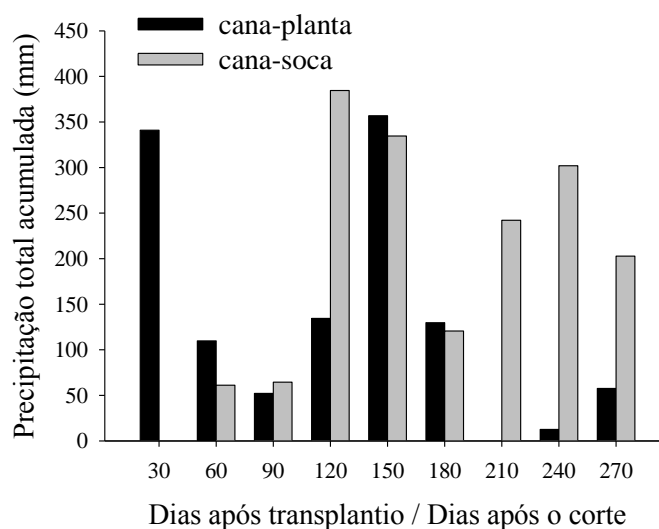
Existem vários estudos relacionados à perda de nitrogênio no sistema solo-planta, porém são poucos os estudos que relatam o potencial de aproveitamento do nitrogênio em cultivos sucessivos de culturas perenes ou semi-perenes. Na maioria dos estudos com uso de fertilizantes nitrogenados as avaliações são realizadas no ciclo agrícola que é realizado a adubação, sendo pouco estudado o efeito residual do nutriente aplicado. Porém poucos estudos como os de Vitti et al. (2007) e Franco et al. (2015) relatam os benefícios proporcionados pelo N em socas subsequentes à aplicação.

Estudos com uso do isótopo  $^{15}\text{N}$  são muito utilizados na atualidade para entender melhor o ciclo do N no sistema solo-planta, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, já que as respostas para esse nutriente são as mais variáveis. De acordo com Trivelin (2000), os estudos com essa técnica no Brasil se iniciaram na década de 80, sendo inovadora, pois a mesma permite determinar a fonte e quantificar o N alocado em diferentes partes do vegetal.

Considerando as diversas formas de perda de N no sistema solo-planta e a grande variação proporcionada pelas características edafoclimáticas (Castro et al., 2016), paralela à hipótese que o N aplicado à cana-planta pode ser aproveitado no ciclo subsequente e promover grandes benefícios, objetivou-se com este estudo avaliar a produtividade de colmos e o aproveitamento do N-residual da ureia por diferentes partes da planta de cana-de-açúcar (primeira soqueira), submetida a diferentes níveis de reposições hídricas e residual de adubações nitrogenadas, com uso da técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$ .

## 2.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na região sudoeste do estado de Goiás, município de Rio Verde, no período compreendido de agosto de 2014 a maio de 2015, em vasos plásticos com dimensões de 0,6 m (diâmetro superior) x 0,46 m (diâmetro inferior) x 0,5 m (altura), preenchidos com pedra brita nº 2 (0,05 metros; no fundo do vaso) e uma mistura de solo com esterco bovino acima da camada de brita, compondo uma camada de 0,45 m de profundidade. Os vasos foram dispostos a céu aberto em uma área experimental pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, situada na latitude 17°48'28" S e longitude 50°53'57" O, com altitude média de 720 metros. O clima da região é classificado (Köppen) como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações pluviométricas variam de 1.500 a 1.800 mm anuais, cujos dados de precipitação total acumulada durante o ciclo de cana-soca estão descritas na Figura 1.



**Figura 1** - Precipitação pluvial acumulada para a cana-planta e o segundo ciclo da cana-de-açúcar, em função dos dias após o transplante e corte (outubro de 2013 a maio de 2015). Fonte: INMET (Estação Meteorológica da UNIRV - Universidade de Rio Verde).

A variedade cultivada foi a IACSP95-5000, que possui como característica alto potencial produtivo, rusticidade, precocidade, indicada para ambientes favoráveis (A1 – C2) porte muito ereto, ótima brotação de soqueira, bom perfilhamento e fechamento de entrelinhas, resistência as principais doenças e não apresentando tombamento e florescimento.

No experimento foi utilizado solo coletado de um Latossolo Vermelho distrófico, fase cerrado (Santos et al., 2013), juntamente com esterco bovino curtido, numa proporção 3:1 v/v, respectivamente. Foram realizadas amostragem de solo após o corte da cana-planta e as características químicas do substrato (solo + esterco) utilizados nos vasos estão descritas na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Caracterização química inicial do solo + esterco bovino, utilizado nos vasos, de acordo com as doses residuais de N

Dose residual de N	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
DRN0	6,7	236	5	1,9	119	30	<1	15	150,9	165,6	91
DRN60	6,7	214	4	1,8	126	34	<1	16	161,1	177,5	91
DRN120	6,8	240	4	1,8	127	35	<1	15	164,7	179,4	92
DRN180	6,7	276	5	1,6	111	30	<1	16	141,7	158,1	90

P – fósforo; S – Enxofre; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H – hidrogênio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases.

Tabela 2 - Caracterização química inicial do solo + esterco bovino, utilizado nos vasos, de acordo com as doses residuais de N

Dose residual de N	N (total) mg kg <sup>-1</sup>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
DRN0	3619	42,00	0,18	5,30	47,00	10,30	10,5
DRN60	4025	44,00	0,17	5,80	55,00	10,70	13,0
DRN120	4326	50,00	0,17	5,30	58,00	10,30	11,1
DRN180	3780	48,00	0,13	5,40	50,00	09,40	10,9

N – nitrogênio; M.O. – matéria orgânica; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco.

### 2.2.1 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O experimento foi dividido em efeito imediato e residual de N, os tratamentos com dose residual de nitrogênio foram implantados em cana-planta (2013/2014), a fim de determinar o N-residual aplicado à cana-planta que poderia ser utilizado pelo primeiro ciclo de cana-soca (2014/2015). No estudo do efeito imediato do N também em cana-soca, os tratamentos foram implantados nas parcelas correspondentes ao nível zero de N presentes na cana-planta, sendo aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de N via ureia com enriquecimento de <sup>15</sup>N.

O delineamento experimental utilizado no estudo residual foi o de blocos casualizados, com três repetições, analisado em parcelas subdivididas 3 x 3. Os tratamentos das parcelas compreenderam a combinação de três níveis de reposições

hídricas (75, 50 e 25% da capacidade de campo) e as subparcelas foram três doses residuais de nitrogênio, enriquecidos com  $^{15}\text{N}$  (60, 120 e 180  $\text{kg ha}^{-1}$ ), equivalentes para vaso, representados por DRN60, DRN120 e DRN180, respectivamente, na forma de ureia, sendo que foi utilizado a área do vaso para cálculo das doses aplicadas. Para a variável de produtividade foi acrescentado a DRN0 (sem aplicação de N), tornando-se parcelas subdivididas 3 x 4.

### 2.2.2 Adubações

No início do ciclo da primeira soqueira, em todos os tratamentos foram aplicados o equivalente a 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, na forma de ureia comercial, em cana-soca, dividida em duas aplicações (30 e 70 dias após o corte da cana-planta, DAC), de modo que não existisse deficiência deste nutriente e fosse possível avaliar somente o nitrogênio aplicado à cana-planta (residual). Já nas parcelas que não receberam o N na cana-planta, o nitrogênio aplicado foi via ureia marcada com  $^{15}\text{N}$  possuindo abundância de 1,46% do isótopo.

Os macronutrientes potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), foram aplicados em todas as parcelas 120 e 80  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente, na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio. Para os micronutrientes foi necessário fazer somente uma aplicação com boro, de forma que a recomendação seguida foi de 4  $\text{kg ha}^{-1}$ , na forma de ácido bórico.

### 2.2.3 Reposição hídrica da primeira soqueira

A irrigação foi manejada pelo método de lisímetro de drenagem, onde foram utilizados quatro vasos para cada repetição, totalizando doze vasos de referência (lisímetros), sendo que estes também tiveram a cultura implantada. A capacidade de campo (CC) calculada foi de 25 L, sendo que a cada dois dias (turno de rega), essa quantidade de água era aplicada nos lisímetros e após a coleta do volume drenado dos vasos, os dados eram aplicados na equação 1.

$$CC = AP - AD \quad (1)$$

Em que:

CC = Capacidade de campo;

AP = Volume de água aplicada;

AD = Volume de água drenada.

A quantidade de água aplicada foi sempre proporcional à quantidade suficiente para elevar a umidade aos respectivos tratamentos de 75, 50 e 25% da capacidade de campo do vaso. Ao fim do experimento, foram contabilizadas as precipitações totais e a lâmina líquida de água aplicada ao solo (via sistema de irrigação), durante o período em que a cultura ficou em campo. A lâmina líquida de água aplicada via irrigação para as RH de 75, 50 e 25% foram de: 549,0 mm, 366,0 mm e 183,0 mm, respectivamente. A irrigação foi realizada utilizando-se gotejadores de fluxo turbulento com vazões de 1,65 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço igual a 1,0 bar.

#### **2.2.4 Variáveis analisadas**

Ao longo do experimento foram coletadas todas as folhas secas e por ocasião da colheita determinou-se a massa fresca de toda a parte aérea da planta e a produtividade de colmos (kg vaso<sup>-1</sup>). Posteriormente, foram coletadas amostras de colmos e resíduos culturais, secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, determinando assim a massa seca. Para não superestimar a produtividade de MS e de colmos devido à pequena área do vaso, utilizou-se a área ocupada pelo dossel das plantas e os espaçamentos entre cada parcela, obtendo a área de 1,595 m<sup>2</sup>, com essa área e os valores em kg vaso<sup>-1</sup>, a produtividade de colmos e massa seca foram extrapoladas para t ha<sup>-1</sup>. O material vegetal foi então triturado em moinho tipo Wiley, identificado, hermeticamente lacrado e posteriormente encaminhado ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, para as determinações da concentração de N no material vegetal (g kg<sup>-1</sup>) e % Átomos de <sup>15</sup>N no material vegetal (%), em espectrômetro de massa (IRMS), acoplado a analisador automático 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, conforme metodologia descrita em Barrie e Prosser (1996).

Foram determinadas as seguintes variáveis: massa seca (MS), nitrogênio acumulado (NA), percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%Npf), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QNpf), aproveitamento do nitrogênio (AP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpso) e relação do N-residual acumulado nos resíduos culturais e colmos comparado com o N-residual acumulado na parte aérea da planta (NR/NP; NC/NP); todas as variáveis foram determinadas para os resíduos culturais (ponteiro + palhada), colmo e parte aérea da planta (colmo + resíduos culturais).

O aproveitamento do N proveniente do fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar, a quantidade de N acumulado e quantidade de N proveniente de outras fontes foram calculados utilizando-se a sequência de equações:

a) Nitrogênio acumulado pelo material vegetal (NA, kg ha<sup>-1</sup>)

$$NA = N \times MS \quad (2)$$

em que:

N = Concentração de nitrogênio no material vegetal (g kg<sup>-1</sup>);

MS = Massa seca (t ha<sup>-1</sup>).

b) Percentagem de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (%Npf)

$$\%N_{pf} = \frac{\% \text{Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no material vegetal}}{\% \text{Átomos de } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

% átomos de <sup>15</sup>N em excesso no material vegetal = % Átomos de <sup>15</sup>N na planta subtraindo-se a abundância natural <sup>15</sup>N (0,3663%);

% átomos de <sup>15</sup>N em excesso no fertilizante = % Átomos de <sup>15</sup>N no fertilizante subtraindo-se a abundância natural <sup>15</sup>N (0,3663%).

c) Quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante (QNpf, kg ha<sup>-1</sup>)

$$QN_{pf} = \frac{\%N_{pf} \times NA}{100} \quad (4)$$

em que:

NA = nitrogênio acumulado pelo material vegetal (kg ha<sup>-1</sup>);

%N<sub>ppf</sub> = percentagem de N no material vegetal proveniente do fertilizante.

d) Aproveitamento do nitrogênio pelo material vegetal, proveniente do fertilizante (AP, %)

$$AP = \frac{QN_{pf}}{QNA} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$QN_{pf}$  = quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

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

e) Quantidade de N no material vegetal proveniente de outras fontes ( $QN_{pso}$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ )

$$QN_{pso} = NA - QN_{pf} \quad (7)$$

em que:

$QN_{pf}$  = quantidade de nitrogênio no material vegetal proveniente do fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

Para o cálculo da relação N- fertilizante acumulado nos resíduos culturais / N- fertilizante acumulado na parte aérea ( $NFR/NFP$ , %) e N- fertilizante acumulado nos colmos / N- fertilizante acumulado na parte aérea ( $NFC/NFP$ , %), utilizou-se as equações 8 e 9 respectivamente.

$$NFR/NFP = \frac{NFAR \times 100}{NFAP} \quad (8)$$

$$NFC/NFP = \frac{NFAC \times 100}{NFAP} \quad (9)$$

em que:

$NFAR$  = N-fertilizante acumulado nos resíduos culturais ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$NFAC$  = N-fertilizante acumulado nos colmos ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$NFAP$  = N-fertilizante acumulado na parte aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ );



### 2.2.5 Análises estatísticas

Os dados referentes ao efeito residual foram submetidos à análise de variância e quando Teste F foi significativo, realizou-se o teste de médias pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade, para todos os fatores. Utilizou-se o software estatístico SISVAR-ESAL<sup>®</sup>. Para os dados de efeito imediato foram determinados somente as médias.

### 2.3 Resultados e discussão

Analisando o efeito imediato do N em cana-soca ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ), o aproveitamento de N foi em média de 17,15% na parte aérea da cana-de-açúcar, o que equivale a 20,58 kg de N aproveitado dos 120 aplicados via ureia. Geralmente a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N absorvido é menor que 40% do N aplicado (Franco et al., 2011). O aproveitamento encontrado é considerado baixo, possivelmente pela perda de N por volatilização, já que a aplicação de ureia foi em superfície com o solo totalmente descoberto e os restos culturais do ciclo anterior foram coletados para contabilização da produtividade de palha e ponteiro. Este resultado foi similar ao encontrado por Gava et al. (2003) que, ao estudar a recuperação do N da ureia sob diferentes formas de aplicação, encontraram um aproveitamento médio de 17% em cana-soca, tanto aplicada em superfície quanto em sulcos. De acordo com Trivelin et al. (2002), perdas de N pela cana-soca são maiores do que em cana-planta, principalmente devido à aplicação ser em superfície e não em profundidade como na planta. Sabe-se que as perdas de N são altamente variáveis, devido aos diferentes manejos empregados que podem acarretar grandes variações na eficiência de uso do N (Castro et al., 2016).

**Tabela 3** - Produtividade (P), nitrogênio acumulado (NA), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante (QN<sub>pf</sub>), aproveitamento do nitrogênio (AP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QN<sub>pso</sub>) e percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (%N<sub>pf</sub>) dos colmos, resíduos culturais e parte aérea da cana-de-açúcar; relação de N-fertilizante no colmo comparado com o da parte aérea (NFC/NFP) e relação de N-fertilizante nos resíduos culturais comparado com o da parte aérea (NFR/NFP)

---

**Variáveis**

**Material vegetal**

	Colmo	Resíduos culturais	Parte aérea
P (t ha <sup>-1</sup> )	150,99	46,17	197,16
MS (t ha <sup>-1</sup> )	41,53	9,90	51,43
NA (kg ha <sup>-1</sup> )	135,61	111,71	247,32
QNpf (kg ha <sup>-1</sup> )	11,22	9,35	20,58
QNpso (kg ha <sup>-1</sup> )	124,39	102,36	226,74
%Npf (%)	-	-	8,37
AP (%)	9,35	7,8	17,15
NFC/NFP (%)	54,15	-	-
NFR/NFP (%)	-	45,84	-

É notório a alta necessidade de N pela cana-de-açúcar. Para a produção de 51,43 t de massa seca de parte aérea, houve um acúmulo de 247,22 kg de N, de forma que 226,74 kg não foram fornecidos pela adubação nitrogenada e sim pelo N-nativo presente na mistura de solo e esterco, mais o N oriundo da FBN (Tabela 3). 54,15% de todo o N-fertilizante acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar teve como destino os colmos. Fortes et al. (2011) encontraram valores superiores, sendo esses de 77%, enquanto Vieira-Megda (2015) encontraram 55%, corroborando com esse estudo.

### Efeito residual

Analisando-se as variáveis referentes aos colmos, nota-se que a quantidade de N-fertilizante acumulado foi influenciada significativamente pela RH e DRN. O aproveitamento foi influenciado pelas DRN e a produtividade de colmos pelas RH, já para as demais variáveis não houve diferença significativa (Tabela 4). Este resultado constata que o N aplicado em um ciclo, pode ser aproveitado pela cana-de-açúcar em seu ciclo subsequente e que a quantidade de água no solo também pode influenciar o aproveitamento. Apesar de o N-residual ficar disponível para a cultura, as quantidades a mais absorvidas do fertilizante não influenciaram a MSC e a produtividade de colmos; porém, os benefícios podem estar ligados a outras características, como maior longevidade do canavial e aumento do rendimento bruto de açúcar e álcool, pois em alguns estudos é observado o incremento do ATR com o aumento de DRN. Bastos et al. (2016), ao estudarem o N-residual em soqueira de cana-de-açúcar notaram que o ATR é influenciado, e que dentro da RH25 a DRN180 obteve valores de 21,18 e 17,43% superiores às DRN120 e 60 respectivamente. Franco et al. (2015) também estudando N-

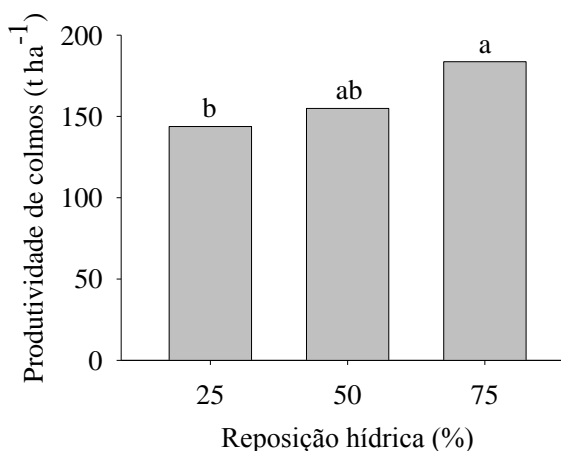
residual observaram o aumento no teor de sacarose em cana-soca, ficando evidente o benefício de uma boa adubação de plantio para as socas subsequentes.

**Tabela 4** – Produtividade de colmos (PC), massa seca (MSC), nitrogênio acumulado (NAC), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QNpfC), aproveitamento do nitrogênio (APC), relação de N-residual no colmo comparado com o da parte aérea (NFC/NFP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsoC) dos colmos da cana-de-açúcar (primeira soca) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses residuais de nitrogênio (DRN), aplicadas no ciclo precedente, de cana-plantada

Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		PC	MSC	NAC	QNpfC	QNpsoC	APC	NFC/NFP
RH	2	5080,14*	50,77 <sup>ns</sup>	451,24 <sup>ns</sup>	0,42*	435,80 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	68,25 <sup>ns</sup>
Bloco	2	1249,94 <sup>ns</sup>	61,42 <sup>ns</sup>	621,14 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	603,82 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	106,36 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	599,46	23,34	206,10	0,03	201,33	0,13	17,40
DRN	2	886,22 <sup>ns</sup>	19,30 <sup>ns</sup>	160,62 <sup>ns</sup>	2,55**	168,22 <sup>ns</sup>	5,67**	15,48 <sup>ns</sup>
RH x DRN	4	1886,50 <sup>ns</sup>	28,95 <sup>ns</sup>	1065,76 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1010,83 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	730,22	88,25	917,72	0,32	893,08	0,34	18,90
CV a (%)	-	15,23	12,07	11,37	8,62	11,43	18,44	8,38
CV b (%)	-	16,80	23,47	24,00	26,89	24,08	29,18	8,74
Média geral		----- t ha <sup>-1</sup> -----		----- kg ha <sup>-1</sup> -----			----- % -----	
		160,81	40,03	126,24	2,12	124,11	2,00	49,77
DMS		9,50	8,11	24,10	0,307	23,83	0,62	7,00

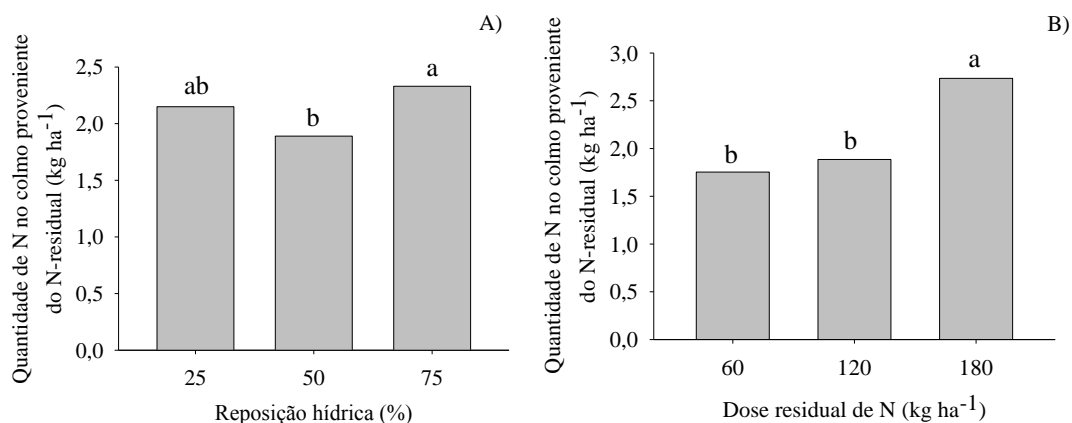
\*\*Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

A RH de 75% foi a que proporcionou maior produtividade de colmos se igualando estatisticamente a RH de 50%, corroborando com Oliveira et al. (2016), que ao estudarem variáveis produtivas da cana-de-açúcar notaram o incremento na PC com o aumento das RH, de forma que a RH de 75% alcançou uma produtividade de 230 t ha<sup>-1</sup>, superando os 183,68 t ha<sup>-1</sup> que foram encontrados nesse estudo (Figura 2).



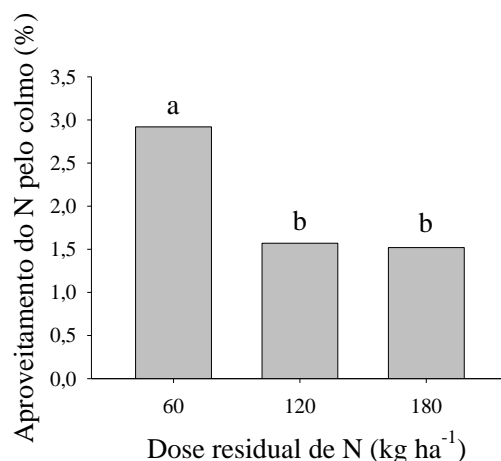
**Figura 2** – produtividade de colmos da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas.

Como esperado, a maior DRN estudada foi responsável por um maior acúmulo de N-residual no colmo da cana-de-açúcar (Figura 3B) e a RH75 e 25 também obtiveram melhores resultados para essa variável, sendo que a RH50 se igualou estatisticamente à RH25 (Figura 3A), indicando que mesmo as reposições hídricas interferindo no acúmulo do N-residual nos colmos, essa diferença entre as lâminas aplicadas via irrigação não foram tão expressivas para essa variável.



**Figura 3** – Quantidade de N no colmo da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, submetida a diferentes níveis de reposições hídricas (A) e doses residuais de N (B).

O aproveitamento de N pelos colmos foram superiores na DRN60, isso pode ser explicado pela maior imobilização e menor perda do N-fertilizante proporcionalmente nessa dose de N em cana-planta. Pois em proporção às doses, os microrganismos imobilizam mais N-fertilizante da DRN60 do que nas demais doses e disponibilizaram na soqueira em maiores proporções, favorecendo um maior aproveitamento da DRN60, além disso as perdas de N-fertilizante são maiores em doses superiores, favorecendo também um melhor aproveitamento em doses inferiores. Esse resultado corrobora com Franco et al. (2015), que observaram que a recuperação ou eficiência de utilização do N é diminuída por doses de N mais elevadas, sendo essas tratadas como efeito imediato ou residual.



**Figura 4** – Aproveitamento do N-residual pelos colmos da cana-de-açúcar, submetida a diferentes doses residuais de N.

Diferentemente dos colmos, a massa seca dos resíduos culturais (ponteiros e folhas) foram influenciados pelos dois fatores estudados, porém as médias não se diferenciaram pelo teste de Tukey para as RH (Tabela 5). Excluindo a MSR e a relação NR/NP as demais variáveis foram influenciadas pela interação entre os fatores (Tabela 5).

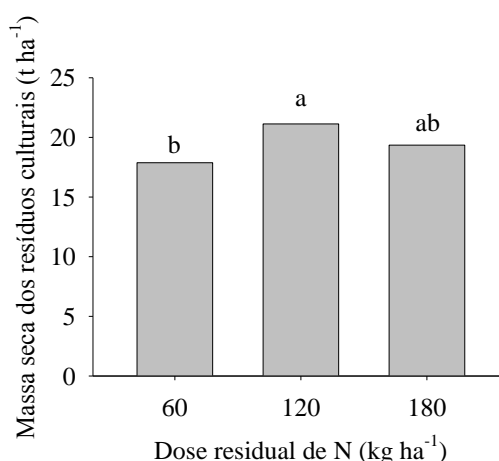
**Tabela 5** - Resumo da análise de variância para massa seca (MSR), nitrogênio acumulado (NAR), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QNpfR), aproveitamento do nitrogênio (APR), relação do N residual no resíduo cultural comparado com o da parte aérea (NR/NP) e quantidade de nitrogênio proveniente do solo outras fontes (QNpsoR) dos resíduos culturais da cana-de-açúcar (primeira soca) submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses residuais de nitrogênio (DRN), aplicadas no ciclo precedente, de cana-planta

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		MSR	NAR	QNpfR	QNpsoR	APR	NFR/NFP
RH	2	21,57*	1366,87*	0,01 <sup>ns</sup>	1359,16**	0,09 <sup>ns</sup>	68,25 <sup>ns</sup>
Bloco	2	23,69*	1031,71*	0,33 <sup>ns</sup>	994,74**	0,29*	106,36 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	3,00	133,93	0,05	128,57	0,02	17,40
DRN	2	23,88*	1117,15*	3,27**	1080,15**	3,91**	15,48 <sup>ns</sup>
RH x DRN	4	11,84 <sup>ns</sup>	849,31*	0,73**	805,22**	0,54*	1,91 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	4,26	201,80	0,13	196,33	0,12	18,90
CV a (%)	-	8,92	9,14	11,14	9,11	8,64	8,31
CV b (%)	-	10,62	11,22	17,11	11,26	18,15	8,66
Média geral		t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>		%		
		19,45	126,59	2,12	124,47	1,96	50,23
DMS		2,91	19,43	0,397	19,04	0,28	7,01

\*\*Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

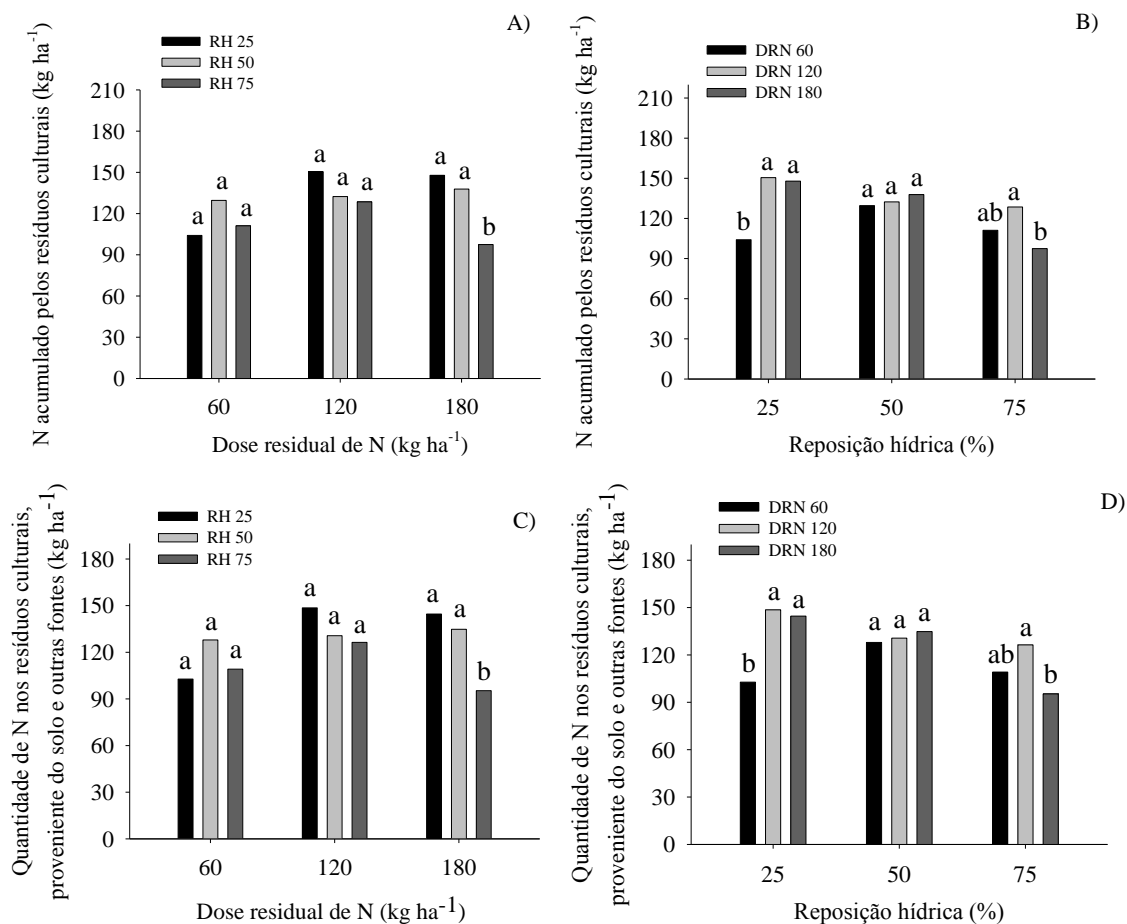
Possivelmente a resposta dos resíduos culturais aos fatores se deve ao início do ciclo da cultura, que coincidiu com a baixa precipitação pluviométrica (Figura 1), a quantidade superior de N-residual e alta taxa de produção de folhas nesse período. Confirmando essa justificativa, ao se analisar a relação NR/NP, nota-se um valor médio de 50,23%, o que demonstra uma proporção de acúmulo de N-residual 1:1 quando comparado com a relação dos colmos (NC/NP), porém o acúmulo de MSC foi o dobro da MSR (Tabela 4 e 5). Para se produzir 10 t de MSC foram acumulados 0,53 kg de N-residual, já para a mesma quantidade de MSR o acúmulo foi de 1,09 kg de N-residual, evidenciando que proporcionalmente aos colmos, os resíduos culturais concentraram o dobro de N-residual.

Na Figura 5 é possível observar que a menor DRN foi responsável pela menor produção de massa seca, se igualando estatisticamente à DRN180, enquanto a DRN120 alcançou valores superiores, também se igualando a DRN180, demonstrando que a DRN mediana seria mais eficiente em questão de rendimento de MSR.



**Figura 5** – Massa seca dos resíduos culturais da cana-de-açúcar, submetida a diferentes doses residuais de N.

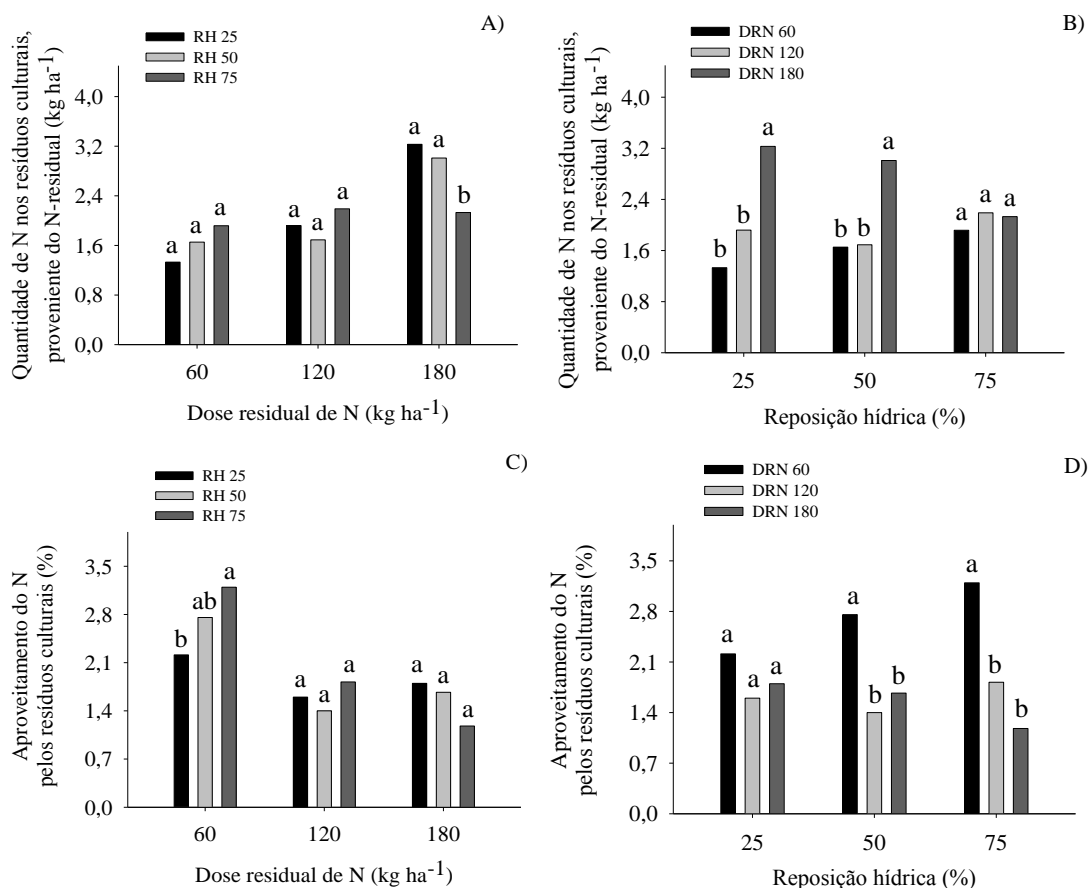
Analisando o desdobramento das interações nos resíduos culturais, para o N acumulado e o proveniente de outras fontes, observa-se que dentro da DRN180 as menores RH se sobressaíram (Figura 6A e 6C), já na RH25 as maiores DRN foram superiores e na RH75 a DRN120 se destacou (Figura 6B e 6D).



**Figura 6** – N acumulado (A) e quantidade de N nos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente de outras fontes, em função da reposição hídrica dentro de cada nível da dose residual de N (C); N acumulado (B) e quantidade de N nos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente de outras fontes, em função da dose residual de N dentro de cada nível de reposição hídrica (D).

Os resíduos culturais da cana-de-açúcar acumularam mais N-residual nas duas menores RH, quando associada com a DRN180, de modo que não houve diferença entre as RH nas demais DRN (Figura 7A). Em relação ao N-residual, o nível de 180 foi responsável por maiores acúmulos nas RH25 e 50, não havendo diferença na RH75 (Figura 7B).

O aproveitamento de N pelos resíduos culturais seguiu a mesma tendência dos resultados dos colmos, ou seja, foi maior na DRN60 (Figura 7D). Já as RH não exerceram grande influência para o aproveitamento, houve um incremento no aproveitamento somente na DRN60, sendo que as duas maiores RH se sobressaíram (Figura 7C).



**Figura 7** – Quantidade de N nos resíduos culturais proveniente do N-residual (A) e aproveitamento do N pelos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, em função da reposição hídrica dentro de cada nível da dose residual de N (C); Quantidade de N nos resíduos culturais proveniente do N-residual (B) e aproveitamento do N pelos resíduos culturais da cana-de-açúcar proveniente do N-residual, em função da dose residual de N dentro de cada nível da reposição hídrica (D).

Analisando a parte aérea da cana-de-açúcar primeira soca, nota-se que a interação entre RH e DRN influenciou significativamente a quantidade de N proveniente do N-residual e o aproveitamento, confirmando a hipótese de que mesmo com pouca quantidade de N no solo a disponibilidade hídrica altera o aproveitamento de N pela cultura. A RH isolada também influenciou o N acumulado e a quantidade de N proveniente de outras fontes, também demonstrando que o acúmulo de N independente da fonte é influenciado diretamente pela quantidade de água do solo. Já o N acumulado e o N proveniente de outras fontes não foram influenciados pelas DRN (Tabela 6).

**Tabela 6** - Resumo da análise de variância para massa seca (MSP), nitrogênio acumulado (NAP), quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante residual (QNpfP), aproveitamento do nitrogênio (APP), quantidade de nitrogênio proveniente do solo e outras fontes (QNpsP) da parte aérea da cana-de-açúcar (primeira soca)



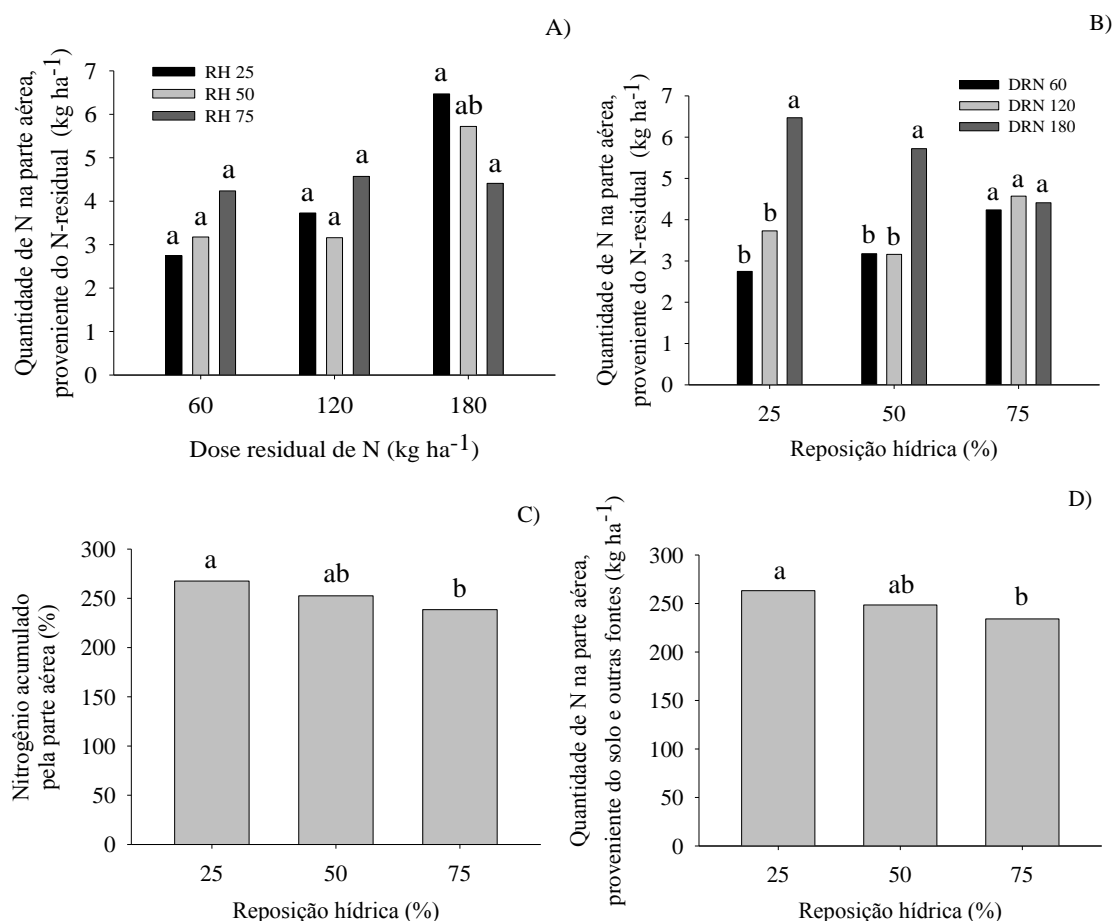
submetida a diferentes reposições hídricas (RH) e doses de nitrogênio (DN), aplicadas no ciclo precedente, de cana-planta.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		MSP	NAP	QNpfP	QNpsoP	APP
RH	2	33,67 <sup>ns</sup>	1905,79 <sup>*</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	1917,34 <sup>*</sup>	1,52 <sup>*</sup>
Bloco	2	27,27 <sup>ns</sup>	452,76 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	432,40 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	20,59	206,32	0,07	200,35	0,12
DRN	2	72,76 <sup>ns</sup>	2077,43 <sup>ns</sup>	11,57 <sup>**</sup>	2031,05 <sup>ns</sup>	19,05 <sup>**</sup>
RH x DRN	4	76,35 <sup>ns</sup>	3762,53 <sup>ns</sup>	3,08 <sup>*</sup>	3565,27 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>*</sup>
Resíduo (b)	12	119,59	1748,71	0,77	1703,36	0,76
CV a (%)	-	7,63	5,68	6,35	5,69	9,00
CV b (%)	-	18,39	16,54	20,77	16,60	21,98
Média geral		t ha <sup>-1</sup>	-----	kg ha <sup>-1</sup>	-----	%
		59,48	252,83	4,24	248,59	4,00
DMS		7,62	24,12	0,45	23,77	0,60

<sup>\*</sup>Significativo entre si a 0,01 de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade, pelo teste Tukey.

Observando os valores absolutos ligados à quantidade de N proveniente do N-residual, na DRN120 a menor RH (25%) se igualou estatisticamente à RH média de 50%, promovendo maiores acúmulos (Figura 8<sup>a</sup>) e nessas mesmas RH a DRN180 foi responsável por proporcionar valores superiores para o N-residual acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar (Figura 8B). Como esperado, em todas as partes da planta a dose residual de 180 kg ha<sup>-1</sup> foi responsável pelo maior acúmulo do N-residual, enquanto em relação as RH não houve uma igualdade entre os materiais vegetais estudados.

O N na parte aérea tendeu a ser mais acumulado em menores RH (Figura 8C), se igualando aos resíduos culturais. O resultado dessa variável está ligada diretamente ao N-proveniente de outras fontes, já que a contribuição do fertilizante residual é baixa. Portanto, é possível observar a semelhança nos resultados obtidos (Figura 8C e 8D). O fato de as menores RH terem se sobressaído, possivelmente, deve-se pela lixiviação de nitrato em épocas de alta precipitação associado com volumes elevados de água aplicados via irrigação em épocas de seca. Outra explicação é a perda do N<sub>2</sub>, pois em solos com elevada umidade, principalmente e solos argilosos, existe a predominância de anaerobiose, favorecendo assim a desnitrificação (Laan et al., 2015).

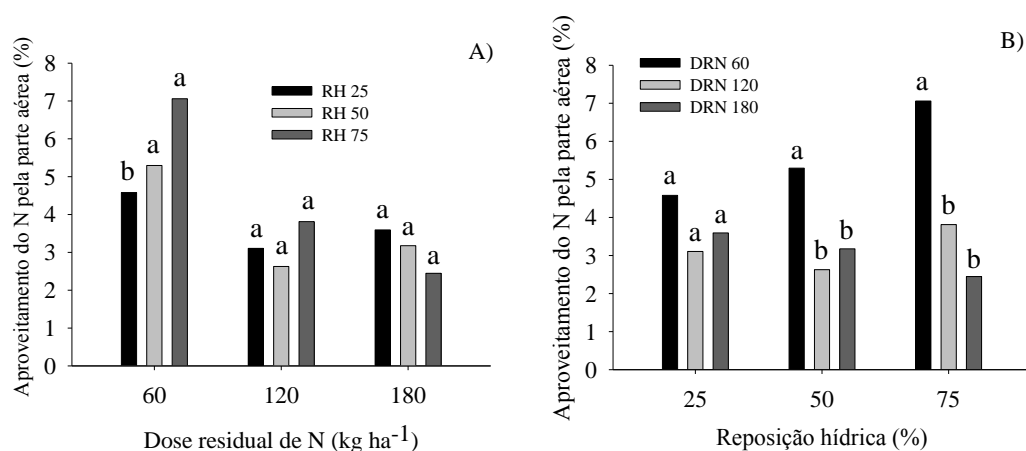


**Figura 8** - Quantidade de N na parte aérea proveniente do N-residual em função da reposição hídrica dentro de cada nível de dose residual de N (A); Quantidade de N na parte aérea proveniente do N-residual em função da dose residual de N dentro de cada nível de reposição hídrica (B); Nitrogênio acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar em função da reposições hídrica; Quantidade de N na parte aérea proveniente de outras fontes, em função da reposição hídrica (D).

Quanto ao aproveitamento de N por toda parte aérea, ficou claro que a menor dose de adubação nitrogenada em cana-planta é melhor aproveitada em cana-soca, levando em consideração percentagem de perdas no ambiente (Figura 9B). Averiguando especificamente essa dose residual de N, notou-se a necessidade de uma quantidade maior de água no solo, pois a RH25 foi responsável pelo menor aproveitamento (Figura 9A e 7C), possivelmente pela baixa precipitação até os 90 DAC (Figura 1), implicando em menores absorções de N pela planta. Associada a RH de 75% a DRN de 60  $\text{kg ha}^{-1}$  proporcionou o maior aproveitamento, sendo este de 7,06%.

O estudo em questão evidencia o aproveitamento do N-residual pela cana-soca, demonstrando que apesar da grande mobilidade e diversas vias de transformações e perdas do N-fertilizante, o mesmo pode e é utilizado pela cana-de-açúcar, podendo ser influenciado pelo acúmulo e partes diferentes da planta e disponibilidade hídrica do

solo. Estudando o efeito residual de adubações nitrogenadas e potássicas em cana planta Schultz et al. (2010), não encontraram a resposta quanto a produtividade de colmos e restos culturais.



**Figura 9** – Aproveitamento do N pela parte aérea da cana-de-açúcar, em função da reposição hídrica dentro de cada nível de dose residual de N (A) e Aproveitamento do N pela parte aérea da cana-de-açúcar, em função da dose de N residual dentro de cada nível de reposição hídrica (B).

Em resumo ficou evidente a influência da quantidade de água no solo sobre o aproveitamento do N-residual e a produtividade da cana-de-açúcar, já que a RH de 75% foi responsável pelos maiores aproveitamentos e pela maior produtividade de colmo. Por outro lado essa mesma RH não favoreceu a alocação de N provenientes de outras fontes e nem o N acumulado.

## 2.4 Conclusões

As doses residuais de N aplicadas à cana-planta não influenciaram a produtividade de colmos da primeira soqueira, porém influenciaram a massa seca dos resíduos culturais e de colmos;

As maiores produtividades de colmos foram alcançadas pelas maiores reposições hídricas.

O aproveitamento de nitrogênio proveniente da ureia foi maior na dose residual de 60 kg ha<sup>-1</sup> e reposição hídrica de 75%;

Independentemente da dose de N aplicada, o aproveitamento do N-residual foi menor do que 7,06% da quantidade aplicada inicialmente à cana-planta.

A proporção de N-residual alocado nos resíduos culturais e colmos foram de 1:1, porém a produtividade de massa seca do colmo foi o dobro da produtividade de massa seca dos resíduos culturais.

Menores reposições hídricas associada as maiores doses residuais de N favoreceram o acúmulo de nitrogênio na planta independente da fonte.

## 2.5 Referências bibliográficas

- BASTOS, A. V. S.; DA SILVA, M. V.; DA SILVA, E. C.; TEIXEIRA, M. B.; MURAOKA, T.; SOARES, F. A. L.; COELHO, R. D. Agroindustrial yield of sugarcane grown under different levels of water replacement and nitrogen fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 29, p. 2623-2629, 2016.
- CASTRO, S. G. Q.; DECARO JR, S. T.; FRANCO, H. C. J.; MAGALHÃES, P. S. G.; GARSIDE, A.; MUTTON, M. A. Best Practices of Nitrogen Fertilization Management for Sugarcane Under Green Cane Trash Blanket in Brazil. **Sugar Tech**, p. 1-6. 2016.
- 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, n. 4, p. 356-362, 2008.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R. Recovery of nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ) by sugarcane from previous crop residues and urea fertilisation under a minimum tillage system. **Sugar Tech**, v. 13, n. 1, p. 42-46, 2011.
- 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 in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 121, n. 1, p. 29-41, 2011.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. D. A.; FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O. Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. **Scientia Agrícola**, v. 72, n. 6, p. 528-534, 2015.

- GAVA, G. D. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. D. Recuperação do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da ureia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 621-630, 2003.
- LAAN, M.; JUMMAN, A.; PERRET, S. R. Environmental benefits of improved water and nitrogen management in irrigated sugar cane: A combined crop modelling and life cycle assessment approach. **Irrigation and Drainage**, v. 64, n. 2, p. 241-252, 2015.
- OLIVEIRA, R. C.; DA SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B. SOARES, F. A. L. DI CAMPOS, M. S. Effect of water replacement and nitrogen fertilization on productivity variables of sugar cane. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 8, p. 633-643, 2016.
- PADRÓN, R. A. R.; NOGUEIRA H. M. C. M.; CERQUERA, R. R.; ALBINO G. D.; NOGUEIRA C. U. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 36-47, 2015.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 353p., 2013.
- SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Residual effects of nitrogen, potassium and vinasse, fertilization on cane plant and ratoon harvested with and without straw burning. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 811-820, 2010.
- TRIVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com o uso do traçador  $^{15}\text{N}$ . Thesis. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 143p. 2000.
- TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. D.; VITTI, A. C.; GAVA, G. D. C.; BENDASSOLLI, J. A. Nitrogen losses of applied urea in the soil-plant system during two sugar cane cycles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.
- VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E.; LEITE, J. M.; FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; MEGDA, M. M.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of fertilizer nitrogen

to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions.

**Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 241-257, 2015.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Sugar cane yield related to the residual nitrogen from fertilization and the root system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

## CONCLUSÃO GERAL

A produtividade de colmos e o aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral em cana-planta não foram influenciados pelos níveis de adubação nitrogenada e reposições hídricas, sendo em média, 20,5% de aproveitamento da quantidade aplicada. A mistura de solo mais esterco bovino e outras fontes foram os principais fornecedores de N para a cana-de-açúcar, independentemente da dose de N mineral aplicada. Para o estudo em cana-soca, as doses residuais de N influenciaram a produtividade de colmos e as maiores produtividades de colmos foram alcançadas pelas maiores reposições hídricas. O aproveitamento de nitrogênio foi maior na dose residual de 60 kg ha<sup>-1</sup> e reposição hídrica de 75%; Independentemente da dose de N aplicada, o aproveitamento do N residual foi menor do que 7,06% da quantidade aplicada inicialmente à cana-planta. A proporção de N-residual alocado nos resíduos culturais e colmos foram de 1:1, porém a produtividade de massa seca do colmo foi o dobro da produtividade de massa seca dos resíduos culturais. Menores reposições hídricas favoreceram o acúmulo de nitrogênio proveniente de outras fontes.