

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DOSE, PARCELAMENTO E MODO DE APLICAÇÃO DE
NITROGÊNIO EM ATRIBUTOS NUTRICIONAIS,
AGRONÔMICOS E TECNOLÓGICOS DE CULTIVARES DE
SORGO SACARINO**

Sérgio Bispo Ramos

Engenheiro Agrônomo

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSE, PARCELAMENTO E MODO DE APLICAÇÃO DE
NITROGÊNIO EM ATRIBUTOS NUTRICIONAIS,
AGRONÔMICOS E TECNOLÓGICOS DE CULTIVARES DE
SORGO SACARINO**

Sérgio Bispo Ramos
Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

2014

R175d Ramos, Sérgio Bispo
Dose, parcelamento e modo de aplicação de nitrogênio em atributos nutricionais, agrônômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino / Sérgio Bispo Ramos. - - Jaboticabal, 2014
xxii, 153 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho

Banca examinadora: Jose Eduardo Corá, Arthur Bernardes Cecilio Filho, Adolfo Valente Marcelo e Anice Garcia

Bibliografia

1. Álcool. 2. Eficiência nutricional. 3. Nutrição. 4. Qualidade tecnológica. 5. *Sorghum bicolor*. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.17:631.84

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DOSE, PARCELAMENTO E MODO DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM ATRIBUTOS NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E TECNOLÓGICOS DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO

AUTOR: SÉRGIO BISPO RAMOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO
Centro Universitário de Rio Preto / São José do Rio Preto/SP

Profa. Dra. ANICE GARCIA
Faculdade Dr. Francisco Maeda / Ituverava/SP

Data da realização: 13 de janeiro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

SÉRGIO BISPO RAMOS – nascido aos 07 dias do mês de outubro de 1964, na cidade de Sales Oliveira – SP, concluiu o ensino básico na EEPSP Capitão Getúlio Lima em 1979, o ensino médio no mesmo Colégio em 1982, na cidade de Sales Oliveira – SP. Em 1984 ingressou no curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Lavras – ESAL/Lavras – MG, onde em 1989 obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em 2006 ingressou no curso de Pós-graduação “Lato Sensu” pela UFLA, onde, em 2008, obteve o título de Especialista em Solos e Meio Ambiente. Em 2009 ingressou no Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/Jaboticabal, onde, em 2011, obteve o título de Mestre. No mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/Jaboticabal, obtendo o título de Doutor em janeiro de 2014.

Para a caminhada, o primeiro passo.

EDICO

Aos meus queridos pais Omar e Margarida (*in memoriam*), minha esposa Katia e meus filhos Emanuel e Samuel.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Jaboticabal e ao Departamento de Solos e Adubos, assim como seus professores, que possibilitaram a transferência de conhecimento;

Ao amigo Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pela orientação, compreensão e dedicação;

À banca do Exame Geral de Qualificação, composta pelos Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Prof. Dr. José Eduardo Corá, Prof^a. Dra. Célia Regina Paes Bueno e Prof^a. Dra. Carolina Fernandes e à banca de Defesa de Tese, composta pelos Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Prof. Dr. José Eduardo Corá, Prof^a. Dra. Anice Garcia e Prof.Dr. Adolfo Valente Marcelo;

Ao amigo Eng^o Agrônomo Marcelo Modesto Nonino e a empresa Nutrión Agronutrientes Ltda, por possibilitarem esta conquista;

À empresa Monsanto, por viabilizar a condução dos experimentos;

Ao amigo Eng^o Agrônomo Antonio Rogerio Cucolicchio, pelos incansáveis incentivos, representando a todos os amigos e colegas que torceram por mim;

Aos amigos Eng^o Agrônomos Edimar Rodrigues Soares e Marcio Silveira da Silva, pela inestimável ajuda ofertada durante a condução dos experimentos, representando também a todos os amigos conquistados no decorrer do curso;

Ao amigo Técnico em Agropecuária Marcelo Scatolin, pelo empenho e dedicação na condução dos experimentos, representando os funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Jaboticabal;

Aos meus pais Omar e Margarida (*in memoriam*). Com certeza estão muito felizes hoje;

Aos meus irmãos Pedro e Ricardo, pelo apoio nesta jornada;

À minha esposa Kátia, puro apoio e compreensão;

Aos meus filhos Emanuel e Samuel;

A Deus.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1. Origem do sorgo sacarino.....	3
3.2. Caracterização do sorgo sacarino.....	4
3.3. Usos do sorgo sacarino.....	6
3.4. Sorgo sacarino e nitrogênio	10
3.5. Fontes de nitrogênio.....	13
3.6. Doses e parcelamento de aplicação de N.....	13
3.7. Qualidade tecnológica e produtividade de colmos	15
3.8. Eficiência nutricional do sorgo sacarino.....	17
3.9. Índice de área foliar do sorgo sacarino.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. Identificação dos experimentos e localização.....	23
4.2. Caracterização dos solos.....	24
4.3. Preparo do solo	24
4.4. Manejo dos experimentos.....	25
4.5. Delineamento experimental.....	25
4.5.1. Delineamento dos Experimentos 1 e 2.....	25
4.5.2. Delineamento do Experimento 3.....	26
4.6. Avaliações.....	27
4.6.1. Diagnose foliar de nitrogênio.....	27
4.6.2. Índices de área foliar (IAF), altura, diâmetro e número de nós.....	27
4.6.3. Partição de N na fitomassa.....	30
4.6.4. Análises tecnológicas.....	30
4.6.5. Produtividade de colmos.....	32

4.6.6. Eficiência nutricional.....	32
4.7. Análises estatísticas.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1. Diagnose foliar para nitrogênio.....	33
5.2. Partição de N na planta.....	37
5.3. Altura, diâmetro e número de nós.....	50
5.4. Massa da matéria verde, da matéria seca e produtividade de colmos.....	56
5.5. Qualidade tecnológica e rendimento de etanol.....	66
5.6. IAF (índice de área foliar).....	81
5.6.1. Fator de forma ou ajuste (F_f) e fator de área foliar (FAF).....	81
5.6.2. Valores de IAF	83
5.7. Eficiências nutricionais.....	88
5.7.1. Eficiência de absorção de N.....	88
5.7.2. Eficiência de utilização de N.....	94
5.7.3. Eficiência de uso de N.....	97
5.7.4. Eficiência de translocação de N.....	101
5.7.5. Eficiência agrônômica de N.....	104
5.7.6. Eficiência fisiológica de N.....	107
5.7.7. Eficiência agrofisiológica de N.....	109
5.7.8. Regressões.....	112
6. CONCLUSÕES.....	118
7. REFERÊNCIAS.....	119

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1: Análise química dos solos coletados previamente à instalação dos experimentos, na camada 0-0,2 m.....	24
Tabela 2: Análise química de micronutrientes, enxofre, alumínio e física, dos solos coletados previamente à instalação dos experimentos, na camada 0-0,2 m.....	24
Tabela 3: Concentração de N para diagnose foliar em sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de nitrogênio.....	34
Tabela 4: Concentração de N para diagnose foliar em sorgo sacarino, em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.....	35
Tabela 5: Partição de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Dados do experimento de Orindiúva	38
Tabela 6: Partição de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Dados do experimento de Uchoa	40
Tabela 7: Partição de N no colmo e panícula + folha em sorgo sacarino do Experimento 3 , em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.....	43
Tabela 8: Altura, diâmetro e número de nós do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio.....	51
Tabela 9: Altura, diâmetro e número de nós do sorgo sacarino, em função de cultivares e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.....	54
Tabela 10: Massas das matérias verde e seca e produtividade do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N.....	56

Tabela 11: Massas das matérias verde e seca e produtividade de colmos do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de N	59
Tabela 12: Equações de regressão de massas de matérias seca e verde e produtividade de colmos de sorgo sacarino, em função do N acumulado no colmo.	62
Tabela 13: POL do caldo, fibra, pureza, ATR e rendimento de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio. Dados do experimento de Orindiúva	67
Tabela 14: POL do caldo, fibra, pureza, ATR e rendimento de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio. Dados do experimento de Uchoa	68
Tabela 15: POL do caldo, fibra, pureza, produtividade de colmos, ATR e rendimento de álcool de quatro cultivares de sorgo sacarino em função das estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.....	72
Tabela 16: Equações de regressão de POL do caldo, fibra, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol, do sorgo sacarino, em função do N acumulado no colmo.....	80
Tabela 17: Índice de área foliar do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio.....	83
Tabela 18: Índice de área foliar do sorgo sacarino em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.....	85
Tabela 19: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Dados do experimento de Orindiúva	88
Tabela 20: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Dados do experimento de Uchoa	89

Tabela 21: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de N.....90

Tabela 22: Equações de regressão de eficiências de absorção, de utilização, de uso, de translocação, agronômica, fisiológica e agrofisiológica, do sorgo sacarino, em função do produtividade de colmos.....113

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1: Precipitação nas áreas referentes aos Experimentos 1, 2 e 3.....	23
Figura 2: Regressão entre área foliar planimetrada e estimada do sorgo sacarino, com diferentes fatores de forma ou ajuste.....	29
Figura 3: Concentração foliar de N, em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028, respectivamente Cult. 1, 2, 3 e 4, de sorgo sacarino e dose de nitrogênio.....	35
Figura 4: Concentração foliar de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e E1, E2, E3 e E4 referem-se as estratégias adotadas.....	36
Figura 5: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca dos colmos de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	39
Figura 6: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca das folhas de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	39
Figura 7: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca das panículas de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	40

Figura 8: Concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca dos colmos do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....41

Figura 9: Concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca das folhas + panículas do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....42

Figura 10: N acumulado na massa da matéria seca da parte aérea do sorgo sacarino, nos de Orindiúvae Uchoa, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....42

Figura 11: Concentração de N no colmo do sorgo sacarino, em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....44

Figura 12: N acumulado na massa da matéria seca dos colmos do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....45

Figura 13: Concentração de N nas panículas + folhas do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....46

Figura 14: N na massa da matéria seca das panículas + folhas do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....47

- Figura 15: N na massa da matéria seca total do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....47
- Figura 16: Altura do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....51
- Figura 17: Diâmetro dos colmo do sorgo sacarino em Orindiúva, em função de cultivares e doses de nitrogênio e diâmetros dos cultivares do experimento de Uchoa. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....52
- Figura 18: Número de nós dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 de sorgo sacarino.....53
- Figura 19: Massas da matéria verde e da matéria seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....57
- Figura 20: Massas da matéria verde e da matéria seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....57
- Figura 21: Produtividade de colmos do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....58
- Figura 22: Massas da matéria verde e seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias de aplicação de N. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....60

Figura 23: Toneladas de colmos por hectare de sorgo sacarino, em função de cultivares, estratégias e modos de aplicação de N e suas interações. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028....60

Figura 24: POL do caldo do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....68

Figura 25: Teor de fibra de quatro cultivares de sorgo sacarino. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....69

Figura 26: Brix do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....69

Figura 27: Pureza do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....70

Figura 28: ATR do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....71

Figura 29: Rendimento de etanol do sorgo sacarino em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e doses de nitrogênio.....71

Figura 30: Fibra e brix do sorgo sacarino, em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e das estratégias e modos da aplicação nitrogenada.....73

Figura 31: POL do caldo e Brix de quatro cultivares de sorgo sacarino com aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	74
Figura 32: Pureza do sorgo sacarino em função do modo de aplicação de N e nas testemunhas.....	74
Figura 33: ATR do sorgo sacarino em função de cultivares e da estratégia e modo de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	75
Figura 34: Rendimento de etanol do sorgo sacarino em função de cultivares e das estratégias e modos de aplicação de N. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	76
Figura 35: Áreas foliares planimetradas e estimadas de quatro cultivares de sorgo sacarino.....	82
Figura 36: IAF do sorgo sacarino em função dos cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	84
Figura 37: IAF do sorgo sacarino em função de cultivares e estratégias de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	86
Figura 38: Eficiência de absorção de N em função de cultivares de sorgo sacarino e de doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	89
Figura 39: Eficiência de absorção de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....	91

- Figura 40: Eficiência de utilização de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....95
- Figura 41: Eficiência de utilização de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e suas testemunhas e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028....96
- Figura 42: Eficiência de uso de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....98
- Figura 43: Eficiência de uso de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....99
- Figura 44: Produtividade colmos e eficiência de uso de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de nitrogênio.....100
- Figura 45: Eficiência de translocação de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028..... 102
- Figura 46: Eficiência de translocação de N, em função de cultivares de sorgo sacarino e testemunhas e estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....102

- Figura 47: Eficiência agrônômica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....105
- Figura 48: Eficiência agrônômica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....105
- Figura 49: Eficiência fisiológica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....108
- Figura 50: Eficiência fisiológica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....108
- Figura 51: Eficiência agrofisiológica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....110
- Figura 52: Eficiência agrofisiológica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.....111
- Figura 53: Regressões entre eficiência de absorção com de uso, de utilização, de translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino....114
- Figura 54: Regressões ente eficiência de utilização com de uso, translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino.....115
- Figura 55: Regressões entre eficiência de uso com de translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino.....116

Figura 56: Regressões entre eficiência de translocação com agronômica e fisiológica e agrofisiológica em sorgo sacarino.117

Figura 57: Regressões entre eficiência agronômica com fisiológica e agrofisiológica e entre eficiência fisiológica com agrofisiológica em sorgo sacarino.....117

DOSE, PARCELAMENTO E MODO DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM ATRIBUTOS NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E TECNOLÓGICOS DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO

RESUMO – Três experimentos foram conduzidos em condições de campo, com o objetivo de avaliar, em quatro cultivares de sorgo sacarino, os efeitos das doses, épocas e modos de aplicação de nitrogênio produtividade de colmos e etanol, qualidade tecnológica e eficiência nutricional de N na cultura. Foram instalados dois experimentos em delineamento de blocos casualizados, segundo um esquema fatorial 5x4 (cinco doses de N e quatro cultivares), com três repetições, plantados em regiões distintas e, um outro, em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4x2+4 (quatro cultivares, quatro estratégias, dois modos de aplicação de N e quatro testemunhas) e três repetições. O modo de aplicação de N no sulco afetou a POL do caldo, a pureza e a ATR e, o parcelamento com 20 kg N ha⁻¹, mais 70 kg N ha⁻¹ em V4-V5 e 30 kg N ha⁻¹ 10 dias após, aumentou a ATR. Os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 obtiveram os maiores valores de ATR, com 76,45 e 59,82 kg t⁻¹ respectivamente. O parcelamento de N e a aplicação a lanço propiciaram a CVW 82158 e a CVW 82028, produtividades de 58 e 61 t ha⁻¹ de colmos respectivamente. No parcelamento de N aplicados no sulco, os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 produziram 1327,8 e 1252,1 l ha⁻¹ de etanol respectivamente. Houve relação significativa entre N acumulado na massa da matéria seca dos colmos com produtividade e com rendimento de etanol. Observou-se também relação entre produtividade de colmos com as eficiências nutricionais de translocação, agronômica e fisiológica de N.

Palavras-chave: álcool, eficiência nutricional, nutrição, qualidade tecnológica, *Sorghum bicolor*

RATE, SPLIT AND MODE APPLICATION OF NITROGEN IN NUTRITIONAL, TECHNOLOGICAL AND AGRONOMIC ATTRIBUTES OF CULTIVARS OF SWEET SORGHUM

ABSTRACT – Three experiments were conducted in field conditions with the objective of evaluating, in four cultivars of sweet sorghum, the effects of rates, times and manners of application of nitrogen in the stalk and ethanol yield, technological quality and N nutritional efficiency in the culture. It were installed two experiments with the same design, in a factorial 5x4 (five N rates and four cultivars), with three replicates in two distinct sites and another, in factorial scheme 4x4x2+4 (four cultivars, four strategies, two N application mode and four control), also with three replicates. The N application mode increased juice POL, purity, ATR and, the split with 20 kg ha⁻¹ N, plus 70 kg ha⁻¹ N at stages V4-V5 and 30 kg ha⁻¹ N 10 days after, increased the ATR. The cultivars CVW 82158 and CVW 82028 obtained the greatest ATR values, with 76.45 and 59.82 kg t⁻¹ respectively. The split of N applied at the groove produced 1327,8 and 1252,1 L ha⁻¹ of ethanol for the cultivars CVW 82158 and CVW 82028 respectively. There was a significant relationship among accumulated N in the stalk dry matter mass with stalk and ethanol yield and between stalk with the nutritional efficiency of translocation, agronomic and physiologic of N.

Keywords: ethanol, nutritional efficiency, nutrition, technological quality, *Sorghum bicolor*

1. INTRODUÇÃO

No momento em que se fala na descoberta de novos poços de petróleo, da necessidade em se aumentar a produção de energia mundial em 57% até 2025, com base em 2002 (ROONEY et al., 2007) e no aumento da taxa de crescimento populacional aliada ao aumento de demanda de energia (ROSADO, 2009), vem à mente a ideia do biocombustível, com o apelo de substituição parcial, em mistura com os combustíveis de origem fóssil (LOURENÇO et al., 2007), visando a diminuição da emissão de dióxido de carbono (BERNDES et al., 2003; CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; FARGIONE et al., 2008) e melhoria da qualidade de vida do planeta (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010).

Para tanto, existem alternativas para produção de biocombustíveis a partir da escolha do tipo de biomassa e ser explorada: amilácea, açucarada e celulósica (LOURENÇO et al., 2007), onde o Brasil, optou por investir na linha do açucarado, por meio da utilização da cana-de-açúcar como matriz bioenergética (TEIXEIRA et al., 1997).

Em uma nova etapa, a indústria sucroenergética procura potencializar a produção de etanol numa mesma área. A utilização da cultura do sorgo sacarino em sucessão ou em rotação com a cana-de-açúcar, visa otimizar o parque industrial, sem a necessidade de substituição da maquinaria (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010).

Como se trata de uma fonte de energia de origem vegetal, tal qual a cana-de-açúcar, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas e manejos do sorgo sacarino, que indiquem os melhores cultivares, ou aqueles mais adaptados para as regiões de plantio, tipos e doses de fertilizantes a serem empregados, épocas e modos de aplicação destes fertilizantes, entre outros.

A introdução desta nova alternativa de produção de biomassa, amparada por técnicas de manejo, promoverá sucesso da cultura, com custos compatíveis com a

realidade do setor e sustentável sob os pontos de vistas econômico, social e ambiental.

O nitrogênio tem se mostrado como um limitador da produtividade do sorgo sacarino (SANTI et al., 2006; FASABI, 1996; VELOSO, 1993), sendo portanto, o objetivo da maioria dos trabalhos de nutrição com a cultura. Sua deficiência pode prejudicar a produtividade da cultura (JOHNSTON, 2000) e seu excesso pode causar danos ao ambiente (KESSEL et al., 1993; GOSH e BHAT, 1998).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de doses, parcelamento e modos de aplicação de N em atributos agronômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A introdução do sorgo sacarino em sucessão ou em rotação com a cana-de-açúcar, com o objetivo de se produzir etanol na entressafra ou adiantar o início da moagem na indústria sucroenergética, é uma realidade nos últimos anos no Brasil.

A área de 20 mil hectares plantada na safra 2012/13 ainda não justifica o otimismo pela cultura, uma vez que o rendimento médio obtido ficou na faixa de 1,2 a 1,5 mil litros de etanol por hectare.

Com a introdução de novas tecnologias para o setor, esperam-se aumentos nestes rendimentos para as próximas safras, assim como, o aumento da área real de plantio, visto que, empresas de produção de sementes do sorgo sacarino trabalham com um potencial de 1,3 milhão de hectares para a cultura, perfazendo 15% da área de cana-de-açúcar, destinada à renovação (BATISTA, 2013).

3.1. Origem do sorgo sacarino

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem sua origem, provavelmente na África, onde, por meio de estudos arqueológicos, sabe-se que sua domesticação data de 3000 anos A.C.

Foi levado ao mundo árabe por volta de 1000 a 800 anos A.C., onde, por sua vez, foi introduzido ao Extremo Oriente (China, Coreia e Japão), chegando até a Índia, utilizando-se rotas comerciais terrestres e marítimas (EMBRAPA 2010).

Sua entrada na Europa está datada por volta de 60 a 70 anos D.C. e, nas Américas, na metade do século XIX, sendo introduzido inicialmente no Caribe, com os nomes de “Milho d’Angola” ou “Milho da Guine” (EMBRAPA, 2010).

A primeira lavoura comercial nos Estados Unidos foi feita em 1853 e, em 1857, o Departamento de Agricultura daquele país lançou o primeiro cultivar “moderno” de sorgo do mundo, já com manipulação genética pelo homem (EMBRAPA, 2010).

Na primeira década do século XX, o sorgo foi extensivamente plantado nos Estados Unidos para produção de xarope ou melaço, utilizando-se materiais extremamente altos, que se assemelham com os forrageiros de hoje em dia, que dificultavam a colheita e apresentavam ciclos muito longos (EMBRAPA, 2010).

A consolidação desta espécie se deu no início da década de 60, quando, cientistas americanos desenvolveram os materiais híbridos, dispersando o plantio da cultura para diversos países do mundo, como, Argentina, México, Austrália, China, Colômbia, Venezuela, Nigéria, Sudão, Etiópia e Brasil, tornando-se hoje, o Brasil, um dos dez maiores produtores mundiais de sorgo (EMBRAPA, 2010).

A entrada do sorgo no Brasil, portanto, se deu de duas formas: a primeira, idêntica à América do Norte, por meio de sementes trazidas pelos navios negreiros e espalhadas nas áreas de plantio da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro e, a segunda, com a importação de materiais melhorados (EMBRAPA, 2010).

No ano de 1977, o Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo (CNPMS) incluiu no seu programa de melhoramento, trabalhos com o sorgo sacarino, visando a produção de bioenergia, desenvolvendo novos cultivares adaptados as condições brasileiras (SCHAFFERT, 1986; ANDRADE e OLIVEIRA, 1988).

Nesta década de 70, com a alta do petróleo, aconteceu grande desenvolvimento de genótipos de sorgo sacarino para produção de etanol no Brasil, porém, este entusiasmo foi desaparecendo ao longo dos anos, até o final da década de 80, quando os preços do petróleo despencaram no mercado mundial, diminuindo o interesse dos investidores para produção do biocombustível (ROONEY et al., 2007).

O sorgo sacarino tem um futuro promissor como uma espécie chave na produção de biomassa para geração de energia. A continuada investigação e desenvolvimento de genótipos mais produtivos e adaptados são necessários para o sucesso desta tecnologia (ROONEY et al., 2007), seja pela produção de etanol convertendo-se os açúcares de seus colmos (GNANSOUNOU et al., 2005), seja pela utilização da nova tecnologia de hidrólise enzimática da celulose a partir do bagaço (WRIGHT, 1988; AVRAM e STARK, 2004) ou seja pela queima do bagaço para geração de energia elétrica (JACQUES et al., 1999).

3.2. Caracterização do sorgo sacarino

O sorgo pertence ao grupo de plantas C₄, de ciclo curto (ROMAN et al., 1998), com alta taxa fotossintética, gerando como primeiro produto da fotossíntese um composto com quatro carbonos, o que proporciona um metabolismo mais eficiente, podendo contribuir para o aumento da produção de biomassa (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; AMADUCCI et al., 2004; ANTONOPOULOU et al., 2008; BILLA et al., 1997; ZHAO et al., 2009).

A grande maioria dos materiais genéticos do sorgo requer temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento, tolerando o déficit de água e o excesso de umidade do solo, mais do que a maioria dos outros cereais (EMBRAPA, 2010; REISE e ALMODARES, 2008).

No entanto, existem variações de comportamento em função dos cultivares e, temperaturas noturnas elevadas, podem diminuir a produtividade da cultura, devido ao aumento da taxa respiratória (EASTIN et al., 1978).

Sua conhecida capacidade de adaptação a ambientes com deficiência hídrica (REGO et al., 2003; TESSO et al., 2005; ALMODARES et al., 2007b, PRASSAD et al., 2007; GIRMA, 1989; CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; SMITH e FREDERIKSEN, 2000; EMBRAPA, 2010; LI, 1997; TSUCHIHASHI e GOTO, 2004; RAJAGOPAL, 2008; WORTMANN et al., 2010) é explicada de várias formas.

Diniz (2010) justifica esta resistência à seca, pelo sorgo, devido, sua estrutura radicular ser composta por raízes que possuem sílica na endoderme, grande quantidade de pelos absorventes e alto índice de lignificação do periciclo.

Os mecanismos de escape e tolerância, relacionados aos aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos para resistência a secas no sorgo, também são argumentados, onde, o primeiro se refere ao crescimento radicular profundo e ramificado, o qual é mais eficiente na extração de água e, o segundo, relacionado à diminuição do metabolismo da planta (hibernação), com um extraordinário poder de recuperação após a adução (EMBRAPA, 2009; SMITH e FREDERIKSEN, 2000).

Técnicas para aumentar a resistência à seca, como tolerância ao calor, ajuste osmótico (BASNAYAKE et al., 1995), eficiência na transpiração (MUCHOW et al., 1996), aprofundamento radicular (JORDAN e MILLER, 1980), cera epicuticular (BUCHANAN et al., 2005) e stay-green (PEDREIRA et al., 2003), também podem ser utilizadas na melhoria das características do sorgo sacarino para produção de etanol (ROONEY et al., 2007).

O caule é dividido em nós e entrenós e folhas ao longo de toda a planta. Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco. A inflorescência possui uma espiga fértil e duas estéreis, o que caracteriza o gênero e pode atingir de um a quatro metros de altura, podendo ter vários caules por pé (afilhamento) (DINIZ, 2010).

O sorgo possui três estágios de crescimento (EC), onde EC1 vai do início da germinação até a iniciação das panículas, EC2, do final de EC1 até o florescimento e, EC3, vai da floração à maturação fisiológica da planta. Nas três fases, a fotossíntese, o particionamento de fotoassimilados e a divisão e expansão celular devem ser ajustados, visando um bom rendimento da cultura (EMBRAPA, 2010).

Após o estágio de juvenilidade, que caracteriza a fase vegetativa do sorgo, ou EC1, a planta passa pela fase indutiva ao florescimento, na qual ela é sensível ao

fator climático, passando por mudanças no meristema apical e iniciação do meristema floral (KARANDE et al., 1996; CRAUFURD e QI, 2001).

A planta de sorgo sacarino, após atingir a floração, inicia o processo de acúmulo de açúcares até o estágio de maturação, verificando que, o período entre o final de grãos leitoso e o estágio de grão maduro é o mais adequado à utilização dos colmos para moagem (BORGONOVI e GIACOMINI, 1980; BORGONOVI et al. 1982).

Os carboidratos presentes no sorgo sacarino podem estar na forma não estrutural, tais como açúcares, amido e féculas ou estrutural, como celulose, hemicelulose e substâncias pécticas (ANGLANI, 1998; SOMANI et al., 1995).

O plantio e condução do sorgo sacarino são relativamente simples (ALMODARES et al., 2007a), com perfeita adaptação da cultura a adversidades edafoclimáticas (KRESOVICH, 1981; LIPINSKI e KRESOVICH, 1980), tais como, solos compactados (ALMODARES et al., 2008a), pH entre 5,0 e 8,5 (SMITH e FREDERIKSEN, 2000), salinos e com má drenagem (BERENQUER e FACI, 2001; ALMODARES e HADI, 2009; VASILAKOGLU et al., 2011; ALMODARES et al., 2007a, 2008; TSUCHIHASHI e GOTO, 2004; RAJAGOPAL, 2008; WORTMANN et al., 2010) e menor necessidade de nitrogênio (LIPINSKI e KRESOVICH, 1980) e água, quando comparado com o milho (KRESOVICH, 1981; LIPINSKI e KRESOVICH, 1980).

Embora o sorgo sacarino possa ser conduzido de forma perene para produção de biomassa, esta experiência não tem sido aprovada, devido ao declínio nas produtividades dos cortes de soqueira (ROONEY et al., 2007).

3.3. Usos do sorgo sacarino

O sorgo sacarino pode ser utilizado não somente como alternativa para produção de biocombustível (COWLEY e SMITH, 1972; FERRARIS e STEWART, 1979; INMAN-BAMBER, 1980; GUITTE e KARANJIKAR, 2007), com elevados teores de açúcares e biomassa (REDDY et al., 2005; FONTES et al. 2011; ALMODARES et al., 2008d,e), como também para produção de alimentos

(ANGLANI, 1998; RASPER, 1991; ALMODARES e MOSTAFAFI, 2006; SOUZA et al., 2005), alimentação animal (ALMODARES et al., 1999; FAZAELI et al., 2006; AZARFA et al., 1998) e fibras (ALMODARES et al., 1994b; MURRAY et al., 2008ab)

Para alimentação animal, é usado sob forma de forragem verde, feno, silagem e grãos (MARCHEZAN e SILVA, 1984; SHOWEMIMI et al., 2002; NEUMANN et al., 2002; OLIVEIRA, 1986; JAFARINA et al., 2005; ROONEY et al., 2007).

Sua adaptabilidade para a produção de silagem está ligada ao seu avantajado porte, que pode variar de um a quatro metros de altura (DINIZ, 2010), associado com a boa produtividade de grãos e altos teores de açúcares (TEIXEIRA et al., 1999), porém, com qualidade inferior à produzida com milho (NUSSIO, 1993).

O fato de, a queima de combustíveis fósseis danificarem a camada de ozônio e, o etanol, ter o poder de reduzir este impacto (PRASAD et al., 2007), da necessidade em aumentar a produção de energia em 57% até 2025 (ROONEY et al., 2007) e da substituição de 20% dos combustíveis fósseis por renováveis até 2020 (LOURENÇO et al., 2007; REDDY et al., 2007), promovendo uma redução na emissão de dióxido de carbono (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; BERNDES et al., 2003; WYMAN, 2004), coloca o sorgo sacarino como uma excelente alternativa para produção de energia limpa para o mundo (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010).

O objetivo principal do plantio de sorgo sacarino, então, é a produção de energia, seja com a extração de bioetanol a partir de açúcares de seus colmos, seja pela hidrólise enzimática de celulose ou seja pela queima de seu bagaço.

Dentro do princípio da sustentabilidade, os processos de produção devem obedecer normas da química verde, com produtos biodegradáveis, renováveis e obtidos por processos limpos e consumirem um baixo custo energético (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; VERMERRIS, 2011).

A substituição dos combustíveis fósseis por biodiesel ou bioetanol é uma iniciativa que tende a alavancar a produção de matéria prima oriunda de biomassa, além de fortalecer as indústrias de fertilizantes, sementes, defensivos e maquinaria agrícola e também, o aumento no sequestro de CO₂ (LOURENÇO et al., 2007).

Tal fato, será importantíssimo num futuro próximo, quando as quotas de CO₂ forem mais rigorosas (LOURENÇO et al., 2007; BERNDES et al., 2003), além de

contribuir na estabilização dos rendimentos dos agricultores e poder manter e melhorar a ecologia e a sustentabilidade social (PARIKKA, 2004; XIONG et al., 2008).

O etanol possui excelentes propriedades para motores de combustão interna em função de sua alta octanagem e calor de vaporização, sendo mais eficiente como combustível puro do que a gasolina (BAILEY, 1996; GNANSOUNOU et al., 2005).

Possui ainda, muito baixa toxicidade quando comparado com os outros combustíveis, sendo facilmente biodegradável em água e solos, reduzindo as consequências desagradáveis de vazamentos e derrames (GNANSOUNOU et al., 2005).

Lipinski e Kresovich (1982) fizeram uma apreciação sobre culturas de grande potencial como fontes renováveis de energia e afirmaram que as três, de maior destaque, são a cana-de-açúcar, a beterraba e o sorgo sacarino.

No Brasil, como a cana-de-açúcar está sendo usada como a matriz bioenergética para produção de etanol, o sorgo sacarino aparece como uma alternativa técnica e economicamente viável para o fornecimento de matéria prima (DAYAKAR RAO et al., 2004; RIBEIRO FILHO et al., 2008), sendo plantado na entressafra, evitando o corte antecipado da cana e reduzindo a ociosidade da instalação industrial (TEIXEIRA et al., 1997).

Como dito anteriormente, a matéria prima para produção e bioetanol, que se destina à mistura com a gasolina ou a produzir um aditivo da gasolina (ETBE), é formada por biomassa de origem amilácea, açucarada e celulósica (LOURENÇO et al., 2007; FISCHER et al., 2005).

A biomassa tipo amilácea é aquela que produz etanol a partir dos grãos dos cereais e/ou culturas alimentares ricas em amido. Neste seguimento se destacam as culturas do milho, cevada, batata e mandioca (LOURENÇO et al., 2007; JACQUES et al., 1999; DRAPCHO et al., 2008).

No entanto, com o aumento da demanda por combustíveis renováveis, surge uma nova preocupação, que é a ocupação de terras utilizadas para produção de alimentos (TENENBAUM, 2008; ZHONG et al., 2010; FAO, 2002).

Por isso mesmo o sorgo sacarino recebe grande incentivo da União Europeia, no desenvolvimento de espécies voltadas exclusivamente para produção de biomassa (REXEN, 1992; CHENG et al., 2009; TIAN et al., 2009).

Como biomassa do tipo celulósico, a madeira e resíduos de culturas se destacam frente as demais fontes, porém, esta alternativa tecnologicamente mais complicada (DOLCIOTTI et al., 1998), parece ser pouco viável a curto prazo para o sorgo sacarino (WYMAN, 1999; LOURENÇO et al., 2007; TAHERAZDEH e KARIMI, 2008).

Esta tecnologia dispendiosa necessita de tratamento prévio para retirada da lignina (OLIVEIRA et al., 2009), com tecnologia extensa, descrita pelo Laboratório Nacional de energia Renovável (NREL) dos Estados Unidos (WOOLEY et al., 1999ab).

A quantidade de celulose do bagaço do sorgo sacarino o torna uma matéria prima promissora, no futuro, para produção de etanol a partir dos materiais lignocelulósicos (WRIGHT, 1988; OLIVEIRA et al., 2009). Tal característica é comum na cana-de-açúcar (BASTOS, 2007).

Gnansounou et al. (2005) sugerem que a melhor maneira de se tirar vantagem da flexibilidade dos usos do sorgo sacarino na indústria é com a produção de açúcar e etanol, seja com a industrialização do caldo para estes fins ou seja na fabricação de etanol a partir do bagaço do sorgo sacarino, semelhante pesquisas realizadas por Avram e Stark (2004) e Procknor (2003).

O tipo açucarada compreende a biomassa que produz açúcares, se destacando a cultura da beterraba sacarina na Europa e a cana-de-açúcar no Brasil (PENNINGTON e BAKER, 1990; LOURENÇO et al., 2007), com grande apelo mundial para entrada também do sorgo sacarino (BESHEIT et al., 1996; KAGNE et al., 2008).

A opção pela cana-de-açúcar para produção de etanol no Brasil acontece por ser ela, fonte de matéria prima mais barata, com alto rendimento agrícola e industrial e que dispensa processos intermediários para obtenção de açúcares simples, como são os casos do amido e celulose (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; MATSUOKA et al., 2009).

O sorgo sacarino se encaixa perfeitamente neste contexto, pois seu plantio e colheita ocorrem na entressafra da cana (TEIXEIRA et al., 1997).

Se caracteriza e se completa com a cana-de-açúcar também por ser uma cultura economicamente viável (BLASS et al., 2000; OLIVEIRA, 1986), o armazenamento dos açúcares acontece nos colmos (BARBANTI et al., 2006; OLIVEIRA, 1986), não exige modificações na instalação industrial (TEIXEIRA et al., 1997) e também fornece bagaço para queima (OLIVEIRA, 1986).

Rooney (2004) e Tew et al. (2008) afirmam que o sorgo sacarino possui altos níveis de açúcar nos colmos e, esta cultura, pode e deve ser uma alternativa para produção de etanol na sucessão à cana-de-açúcar.

3.4. Sorgo sacarino e nitrogênio

A disponibilidade de N para plantas de clima tropical é prejudicada pelas secas, veranicos, solos de baixa fertilidade, entre outros (MAGALHÃES e FERNANDES, 1993) e, esta variação na disponibilidade do nutriente, pode afetar o desenvolvimento e produtividade das plantas (MCCULLOUGH et al., 1994; UHART e ANDRADE, 1995ab).

O nitrogênio tem efeitos sobre a assimilação de carbono, produção de biomassa e rendimento econômico das culturas. Plantas crescidas com quantidade inadequada de nitrogênio não expressam totalmente seu potencial genético, pois, sob tais condições, ocorre uma série de alterações morfológicas e fisiológicas, afetando, negativamente, o crescimento das plantas (EVANS, 1989).

Esse problema tem levado à afirmação de que o nitrogênio é um dos nutrientes que mais tem limitado o aumento de rendimentos das culturas (GREENWOOD et al., 1991), especialmente nos trópicos. A deficiência de nitrogênio, além de reduzir o crescimento, pode afetar a partição de assimilados entre as diferentes partes da planta (DONALD e HAMBLIN, 1976), ocasionando, geralmente, aumento na relação entre a massa seca das raízes e a massa seca da parte aérea (CRUZ, 2001).

O efeito da deficiência do nitrogênio sobre o acúmulo dos açúcares solúveis tem gerado alguns resultados divergentes, dependendo da espécie sob estudo. Em tomate, verificou-se acúmulo de sacarose (GUIDI et al., 1998), enquanto WANG e TILLBERG (1996) observaram aumentos nos níveis de glicose e frutose, mas não nos de sacarose.

Entretanto, em girassol, as concentrações dos três carboidratos citados não foram alteradas, mesmo após um período de 24 dias de crescimento em solução deficiente de nitrogênio (CIOMPI et al., 1996).

Vale ressaltar que o acúmulo de glicose, frutose (CRUZ, 2001) e sacarose (SHEEN, 1990) tem sido relacionado à redução na atividade fotossintética de plantas cultivadas sob deficiência de nitrogênio, em vista da inibição de algumas enzimas do ciclo de Calvin. Essa inibição, que ocorre em nível de repressão do código genético, teria por objetivo ajustar a assimilação de CO₂ em função da demanda por carboidratos pelos diferentes drenos da planta em condição de deficiência de nitrogênio (JANG e SHEEN, 1994).

A demanda por nitrogênio pelas plantas está ligada à sua função estrutural de moléculas orgânicas, como aminoácidos e proteínas e ativador enzimático (MALAVOLTA, 2006), sendo, este nutriente, necessário para realização de um ou mais processos vitais, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração e multiplicação e diferenciação celular (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio influencia diretamente na produtividade das culturas (DUETE et al., 2007), sendo que, no milho, sua presença em quantidades adequadas, aumenta o peso de mil grãos (AMARAL FILHO et al., 2005), altura e peso de espigas (ARAÚJO et al., 2004), comprimento de espigas (BÜLL, 1993), diâmetro dos colmos (MAR et al., 2003), produção de matéria seca (ARAÚJO et al., 2004) e crescimento radicular (BÜLL, 1993).

No solo, 98% do N se encontram na forma orgânica e 2% na forma inorgânica, como amônio (NH₄⁺) e/ou nitrato (NO₃⁻), prontamente disponíveis (MALAVOLTA, 2006), podendo, a forma orgânica, sofrer mineralização durante os cultivos, por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade microbiana do solo (CORDEIRO e HOEK, 2007). No entanto, esta quantidade do nutriente presente

no solo, nem sempre é o suficiente para a produção adequada das culturas, fazendo-se necessária a complementação do nitrogênio via adubação.

Coelho et al. (2002) destacam que 70 a 90% das pesquisas conduzidas no Brasil sob diversas condições de solo, clima e manejos, demonstraram respostas positivas da cultura do milho à adubação nitrogenada, porém, mesmo utilizando as melhores práticas agrícolas para a aplicação do nutriente na fertilização das plantas, geralmente ocorrem perdas de 30 a 50% de N para o meio (PEOPLES et al., 1995; STEVENSON, 1985).

A baixa eficiência da aplicação do nitrogênio, muitas vezes é atribuída pelas perdas do nutriente por volatilização, desnitrificação e lixiviação (MACHADO et al., 2001), onde, por volatilização, Lara Cabezas et al. (1997) verificaram perdas de 31 a 78% do N aplicado, por desnitrificação, Hilton et al. (1994) estimaram em 10% e, por lixiviação, Coelho et al. (1991) constataram 4% de todo nitrogênio aplicado.

Portanto, as doses de nitrogênio devem ser muito bem calculadas, haja vista que se subestimadas, podem provocar redução da produtividade e se, superestimadas, diminuem a rentabilidade do produtor, com gastos desnecessários com o fertilizante, além de afetar o ambiente, pela perda do nutriente em decorrência deste excesso disponível (ARGENTA et al., 2003).

A contaminação do lençol freático em função da aplicação de doses elevadas de nitrogênio é uma realidade e provoca prejuízos ecológicos severos e muito perigosos (KESSEL et al., 1993; GOSH e BAHT, 1998).

Outro ponto também importante, que influencia a eficiência do fertilizante, a produtividade das culturas, os custos de produção e as perdas do nitrogênio, são as formas e épocas de aplicação do nutriente.

Sharief et al. (2004) verificaram que o parcelamento de nitrato de amônio, em três vezes, com doses iguais em beterraba sacarina, aumentou a produtividade da cultura, enquanto Khosla et al. (2000) relatam que a aplicação de todo nitrogênio em cobertura, em estágio de oito folhas totalmente abertas, beneficiaram o desenvolvimento do sorgo.

3.5. Fontes de nitrogênio

O conhecimento das fontes de nitrogênio também é importante, uma vez que, suas aplicações nas culturas, muitas vezes, traduzem resultados diferentes.

A fertilização da beterraba sacarina com nitrato de amônio, por exemplo, foi melhor que a aplicação de ureia ou sulfato de amônio para produtividade, teor de açúcar, diâmetro e comprimento de raízes (NEMEAT, 2001), concordando com resultados de El-Lattief (2011), que também verificou melhores rendimentos em produtividade e qualidade tecnológica do sorgo sacarino, no cultivar Honey, quando da aplicação deste fertilizante.

Subagio (1998), no entanto, estudando fontes do nutriente em sorgo sacarino, verificou melhores parâmetros de produtividade quando da utilização de nitrogênio oriundo de resíduos orgânicos, comparado com ureia e sulfato de amônio, enquanto, Nemeth e Izsaki (2005) e Kesarwani e Sharanappa (2009) encontraram melhor resposta em produtividade da cultura, aplicando-se 75% da dose do nutriente na forma de composto orgânico e 25% na forma mineral via fertilizante convencional.

3.6. Doses e parcelamento de aplicação de N

Muitos autores creditam os aumentos de resultados do sorgo sacarino aos efeitos do nitrogênio (KAGNE et al., 2008; REGO et al., 2003; ALMODARES e MOSTAFAFI, 2006; HUGAR, 2010).

As pesquisas conduzidas nas diversas regiões do mundo, no entanto, demonstram resultados distintos em função das doses e parcelamentos da aplicação do nutriente.

Tripathi e Bhan (1995) relatam que 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicados em duas vezes, metade no momento do plantio e metade cinco semanas após o plantio, apresentaram resultados significativamente distintos de produtividade em sorgo.

A aplicação nitrogenada promove o aumento da produção de colmos do sorgo sacarino (JOHNSTON, 2000; SUDHARSAN et al., 2008; SINARE et al., 2005; BLASKO et al., 2009; SOWINSKI e LISZKA-PODKOWA, 2008; PONNUSWAMY e

SANTHI, 2009; MONTEMURRO et al., 2002; SUMANTRI e LESTARI, 1997; HONG et al., 1992) e incrementa o valor do brix (PHOLSEN e SORNSUNGNOEN, 2004).

Para Leible e Kahnt (1991), Ferraris e Stewart (1979), Kumar et al. (2008), Cowley e Smith (1972), Ping et al. (2010), Nemeth e Izsaki (2007), Almodares et al. (2006), Jackson e Arthur (1980) e Kachapur e Hunje (1996), a adubação com N aumenta a produtividade de colmos e teor de sacarose, enquanto que, para Galani et al. (1991), promove o aumento do teor de sacarose, percentual de proteína e taxa de crescimento da cultura.

Almodares et al. (2006) e Hua et al. (2010) verificaram que maiores doses de nitrogênio, na cultura do sorgo sacarino, determinaram maior área foliar e maiores massas de matéria seca de folhas, colmo e total, discordando dos resultados de Almodares et al. (1996), onde a aplicação nitrogenada em até 300 kg ha⁻¹ não aumentou a produtividade.

Wanjari et al. (1996) e Kagne et al. (2008) constataram aumentos significativos de altura, massa da matéria seca total, área foliar e produtividade de grãos e quantidade de caldo do sorgo sacarino, enquanto Santi et al. (2006), observaram que a massa da matéria seca da cultura foi mais afetada quando da omissão de N>Ca>Mg.

Pholsen e Sornsungnoen (2004), Almodares e Mostafafi (2006) e Fazaeli et al. (2006) verificaram que a aplicação de nitrogênio em sorgo sacarino aumentou a produtividade de colmos, porém, quantidades adequadas de potássio podem propiciar respostas de produtividade ainda maiores de forma sinérgica quando aplicado junto com o nitrogênio.

Freeman et al. (1973) relatam que a aplicação tardia de N interfere negativamente na qualidade do caldo do sorgo sacarino, enquanto Balole (2001), observou que o nitrogênio propiciou aumentos na produtividade da cultura, porém, a época de aplicação em nada afetou.

Kravtsov (2004) observou que a aplicação parcelada de nitrogênio, seja com 60 kg ha⁻¹ no plantio e 20 kg ha⁻¹ com 25 dias ou 60 kg ha⁻¹ no plantio e 40 kg ha⁻¹ com 25 dias, proporcionou produtividades maiores que os tratamentos com aplicação integral do nutriente no momento do plantio.

Sinare et al. (2006), no entanto, verificaram que a aplicação de 30% no plantio, 35% com 25 dias e 35% com 50 dias, aumentou a produtividade de colmos e valores de brix no sorgo sacarino.

Avaliando doses de nitrogênio e formas de aplicação nitrogenada em sorgo sacarino, no sulco e a lanço, Reddy et al. (2008) verificaram que as doses de N não influenciaram a altura das plantas e graus brix, porém, para produção de açúcar, as aplicações de 18 kg de N ha⁻¹ no sulco e 46 kg de N ha⁻¹ a lanço trouxeram melhores resultados.

Lopes (1998) afirma que, quando aplicado o nitrogênio, o fósforo presente no solo se torna mais disponível para as plantas do que quando aplicado sem o nutriente, principalmente no início do ciclo da cultura.

3.7. Qualidade tecnológica e produtividade de colmos

Alem da adubação nitrogenada, apresentada no capítulo anterior, existem outros fatores que podem afetar a qualidade tecnológica e produtividade de colmos do sorgo sacarino.

O plantio realizado tardiamente pode acarretar redução no número de dias para iniciação da formação de panículas e floração (PAULI et al., 1964; CADDEL e WEIBEL, 1971) e, plantios precoces estimulam a produção de sacarose e maiores valores de brix (MAHESHWARI et al., 1974; BROADHEAD, 1972; INMAN-BAMBER, 1980; FERRARIS e CHARLES-EDWARDS, 1986; COWLEY e SMITH, 1972; PETRINI et al., 1993; ALMODARES et al., 1994a).

Machado et al. (1987) verificaram que a melhor época para se atingir maiores produtividades do sorgo sacarino na região de Botucatu-SP foi no início de novembro.

Teetor et al. (2011) constataram que a data de plantio influencia na ATR do sorgo sacarino e, os cultivares apresentam comportamento distintos nos parâmetros tecnológicos, concordando com resultados de Jun et al. (2008) e Prathap et al. (2009).

O ponto de colheita também é um fator que não pode ser desprezado, pois interfere na quantidade e qualidade de açúcar produzido pelo sorgo (PARVATIKAR e MANJUNATH, 1991).

Almodares et al. (2007c), estudando épocas de colheita do sorgo sacarino, verificaram que, as maiores produtividades e percentuais de brix e sacarose, aconteceram no estágio de crescimento EC3, com grãos fisiologicamente maduros, seguido do tratamento com grãos passados ou duros e, por fim, a colheita feita no estágio de florescimento, concordando com resultados de Ranjbar e Almodares (2002), Koleman e Stokes (1964) e Teixeira et al. (1999).

Muminov (1997), Hunter e Anderson (1997) relatam que o período de maturação completa do sorgo sacarino detém o maior percentual de açúcar no caldo e Borgonovi e Giacomini (1980) e Marchezam e Silva (1984) destacam que maiores valores de brix são encontrados de 28 a 31 dias após a floração.

Naik e Jayakumar (1994), no entanto, verificaram que a produtividade do sorgo sacarino não foi afetada em função da época de colheita, porém, os volumes de açúcar aumentaram até aos 110 dias após plantio, enquanto que, Agnal et al. (1992) observaram maior quantidade de caldo aos 80 dias de plantado.

O brix, POL e açúcares redutores do sorgo sacarino podem ser comparados com os da cana-de-açúcar (BAPAT et al., 1983).

Prasad et al. (2007) e Qiu et al. (2010) relatam que, no início da colheita, o brix do caldo do sorgo sacarino chega a 12%, progredindo a 17% até o final, com média de 15% e que, o ponto ótimo de colheita é quando os colmos atingem o tamanho máximo, porém sem o endurecimento dos grãos e, este momento é dependente da variedade escolhida e condições climáticas, que diferem de um ano para outro. Almodares e Sepahi (1996) encontraram brix variando de 14,3 a 22,9%.

Broadhead e Freeman (1980) observaram que, com o aumento da população, por meio do estreitamento das linhas de plantio, houve aumento da produção de colmos, porém, com diminuição da quantidade de caldo e diâmetro dos colmos, concordando com Gutte e Karanjikar (2007), Jozsa (1984) e Eghbal (1993).

Hai et al. (2010) verificaram melhores rendimentos de colmos e teor de açúcar com população de 166650 plantas ha⁻¹ de sorgo sacarino, enquanto Guitte e Karanjikar (2007) observaram 83000 plantas ha⁻¹, como sendo o melhor tratamento.

Worley et al. (1991) e May et al. (2012) observaram que o aumento do espaçamento não foi acompanhado pela manutenção ou aumento de produtividade, concluindo que o sorgo sacarino não compensa situações de população baixa, sendo recomendada atenção especial no momento do plantio para que se evite tal erro operacional.

3.8. Eficiência nutricional do sorgo sacarino

O trabalho de melhoramento genético de plantas, que objetiva a maior adaptabilidade ao meio, maior produtividade, maior resistência a fatores bióticos e abióticos, busca sempre, no conhecimento das eficiências de seus materiais, identificar os genótipos de interesse para a transmissão de suas características.

Com isto, as eficiências de absorção, de uso, de utilização, de translocação, fisiológica, agrônômica, agrofisiológica, entre outras, de um dado nutriente, que compõe a eficiência nutricional das culturas, passam a ter um papel especial para o desenvolvimento de novos genótipos.

Recentes pesquisas apontam a eficiência do uso de N em milho como uma ferramenta para detectar variações genéticas e selecionar novos genótipos que mostrem aumento ou diminuição da atividade metabólica envolvida nas vias de assimilação de N (HIREL et al., 2001)

Vários experimentos testando a eficiência de utilização de milho em condições de baixa disponibilidade de N foram realizados (THIRAPORN et al., 1987; EGHBALL e MARANVILLE, 1991).

O sorgo sacarino tem alta eficiência de utilização de nitrogênio (GARDNER et al., 1994).

Singh et al. (2005), estudando eficiência nutricional do nitrogênio em materiais de arroz híbridos e não-híbridos, verificaram que o Híbrido Pusa 10 apresentou eficiência de uso de 12,5 kg de grãos kg^{-1} de N aplicado, eficiência fisiológica de 44,2 kg grãos kg^{-1} de N absorvido e índice de eficiência de N de 119,6 kg de matéria seca Kg^{-1} de N absorvido.

Shivay et al. (2003), trabalhando com onze genótipos de cevada, observaram maior produtividade de grãos e eficiência de uso do potássio no genótipo 98-6, obtendo o valor de 10,4 kg de grãos kg^{-1} de K aplicado, indicando que, este material possa ser utilizado na linha de melhoramento de plantas.

Venugopalan et al. (2007), estudando três cultivares de algodão e quatro níveis de nitrogênio, constataram que os maiores rendimentos, observados nos materiais AKH 4 e NHH 44, foram atribuídos ao aumento da eficiência de absorção de N. Verificaram ainda que a eficiência de absorção de N e eficiência de utilização do nutriente foram independentes, porém, relacionados com a eficiência de uso.

A adubação verde com crotalária, associada à aplicação de fertilizante nitrogenado mineral, aumentou o desenvolvimento e produtividade do milho, assim como a eficiência de utilização do nitrogênio (SANGAKKARA e STAMP, 2009).

Limon-Ortega et al. (2008) observaram que o parcelamento das doses de nitrogênio contribui para o aumento da eficiência de uso do N na cultura do trigo, enquanto doses elevadas do nutriente reduziram a produtividade e a eficiência de uso, independentemente do parcelamento.

Jatasara et al. (2000) observaram que a aplicação de doses de nitrogênio, até 60 kg ha^{-1} contribuiu para o aumento da eficiência de utilização do nutriente e da produtividade de grãos e palha da aveia. A partir desta dose, foi constatada redução dos indicadores de produtividade e eficiência nutricional.

3.9. Índice de área foliar do sorgo sacarino

Os índices de crescimento são desenvolvidos com a expectativa de melhorar o conhecimento sobre o desenvolvimento das plantas, identificar possíveis deficiências nutricionais e identificar e melhorar genótipos para melhor adaptação espacial e aproveitamento fotossintético.

O crescimento vegetativo pode ser medido por intermédio de métodos destrutivos, em que se avalia o acúmulo de peso seco no tempo, ou por métodos não-destrutivos, em que se mede o aumento em altura, ou ainda o índice de área foliar por meio de equipamentos.

Assim, os índices de crescimento podem ser calculados conhecendo-se o peso seco de toda a planta ou de suas partes e a dimensão do aparelho assimilatório (área foliar) durante certo intervalo de tempo (RADFORD, 1967).

As características de crescimento variam em decorrência de alterações nos níveis de luz, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes, sendo necessário o conhecimento das respostas morfofisiológicas das espécies em dado ambiente, para a determinação de práticas de manejo a serem adotadas (OLIVEIRA et al., 2000).

O índice de área foliar (IAF) é uma variável adimensional e foi definida pela primeira vez como a área unilateral total de tecido fotossintética por unidade de área da superfície do solo (INGE et al., 2004).

O IAF é o componente de crescimento que explica a capacidade de a cultura capturar luz e energia, influenciando assim em seu desenvolvimento, concorrência com plantas daninhas, uso da água e erosão do solo (WELLES, 1990; SONNENTAG et al., 2007).

Representa a área de folha por unidade de área de terreno e, segundo Mott e Popenoe (1977), pode atingir valores de 2 a 3, ou ainda valores maiores que 15 em gramíneas, havendo grandes diferenças entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie.

Mansab et al. (2003) relatam que, para o crescimento máximo da cultura, devem existir folhas suficientes para interceptar a radiação solar, portanto, o crescimento é dependente do IAF.

Samba et al. (2003) afirmam que a interceptação da radiação é intimamente influenciada pelo IAF e, a eficiência fotossintética média (EFM) reduzida provoca diminuição na taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL) e razão de área foliar (RAF).

Borra's et al. (2007), no entanto, identifica três importantes índices para avaliação do crescimento do sorgo: a taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa assimilatória líquida (TAL).

Segundo Tsuni e Fujise (1965), existe uma relação linear entre o índice de área foliar (IAF) e a taxa de assimilação líquida. Barni (1994) afirma que para uma planta utilizar eficientemente a luz na faixa do espectro visível, ocorre a influência do

IAF e de parâmetros físicos, biológicos e alométricos que determinam a absorção da radiação incidente.

A eficiência fotossintética média (EFM) de folhas em uma comunidade agrícola mede a interação da massa da matéria seca pela área foliar, onde, sua medição ao longo do ciclo da cultura fornece um valor que é muito útil para o estudo do crescimento de plantas (SHIPLEY, 2006).

A taxa de crescimento relativo (TCR) da cultura, taxa de assimilação líquida (TAL) e razão de área foliar (RAF) são boas medidas de radiação solar, importantes para o estudo da plantas de forma individual, enquanto o índice de área foliar (IAF) é usado no estudo de populações (PATTERSON, 1982).

Além do IAF, o ângulo de inserção da folha, interceptação de luz por outras partes da planta, distribuição e arranjo das folhas, características de absorção de luz pela folha e quantidade de radiação incidente, são os influenciadores da interceptação da radiação solar (ARGENTA et al., 2001).

A escolha do arranjo das folhas é uma prática de manejo bastante utilizada para maximizar a produtividade de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação solar, que é um dos principais fatores determinantes de produtividade (EVANS, 1993; LOOMIS e AMTHOR, 1994; SANGOI, 2001; VIEIRA JUNIOR et al., 2006).

A relação entre a área foliar e a atividade fotossintética é muito conhecida, o que, considerando as dificuldades inerentes à melhoria no processo de fixação de CO₂, sugere alterações na arquitetura do dossel, com ênfase na otimização de interceptação da radiação solar (MACHADO, 1985; SACHULZE e CALDWELL, 1995).

Para determinação do IAF, há necessidade de medição da área foliar, a qual requer procedimentos laboriosos, morosos e, muitas vezes, imprecisos (VALTER-GRANCHER et al., 1993).

Em geral, os modelos matemáticos utilizados para determinação da área foliar individual, tendo como fator de forma variando entre 0,73 e 0,75, é aplicado para genótipos de milho de clima temperado.

Vieira Junior et al. (2006), no entanto, corroborado por Elings (2000), determinaram que o fator de forma ou ajuste que mais se adéqua aos genótipos de

milho de clima tropical ou subtropical, predominantes no Brasil, é o 0,75 e, a folha de maior área para o cálculo corresponde à primeira espiga do milho e é representada pela sétima da base para o ápice.

Vieira Junior et al. (2006) destacam que os coeficientes de relação (R^2 , %) entre as áreas foliares medidas e estimadas foram superiores a 80%, indicando a possibilidade da utilização da metodologia proposta por Stewart e Dwyer (1999) para estimar a área foliar de plantas de milho dos genótipos brasileiros.

Considerando que a relação entre IAF e atividade fotossintética maximiza a produtividade do milho, Dwyer et al. (1992), Dourado Neto et al. (2001) e Maddoni et al. (2001) destacam que o aumento da produtividade é linear até um ponto crítico, após o qual a produção é limitada pelo sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores.

Portanto, é possível inferir que a radiação suficiente para saturar as folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese da cultura, necessitando a incidência de maior radiação sobre as folhas inferiores (DWYER et al., 1992).

Elings (2000) destaca que a utilização de cinco plantas para checagem do fator de forma ou ajuste, utilizando-se a folha de maior área por planta para predição da área foliar, seja suficiente.

Stickler et al. (1961) verificaram que o fator de forma ou ajuste para correção do produto da multiplicação do comprimento e largura da folha de sorgo granífero para estimar sua área é 0,747.

Stone e Steinmetz (1979) verificaram que a produtividade é altamente correlacionada com o IAF em arroz.

Watson (1952) considerou o IAF e DAF (duração da área foliar) como os principais responsáveis pelas diferenças na produção biológica das culturas, enquanto Pereira e Machado (1987) constataram que quanto mais rápido a cultura atingir o máximo IAF e quanto maior o tempo da área foliar permanecer ativa, maior será a produtividade.

Lopes e Maestri (1973) revelaram que à medida que o IAF aumenta, a absorção de luz e a taxa de produtividade biológica também aumentam.

Muchow e Davis (1988) e Andrade et al. (1993) verificaram que plantas com boa disponibilidade de nitrogênio interceptam uma maior quantidade de radiação,

devido ao índice de área foliar e duração da área foliar, traduzindo-se numa maior produção de biomassa, semelhante aos resultados de Silva e Lovato (2008).

Lucchesi (1984) comenta que a maior TCR está associado com as plantas que desenvolvem mais rapidamente o seu IAF, corroborando os resultados de Silva e Lovato (2008).

Existe uma relação inversa entre IAF e a TAL, nos valores mais elevados do IAF, por causa do mútuo sombreamento das folhas (WATSON, 1947; REIS e MÜLLER, 1979, SILVA e LOVATO, 2008). IAF elevado pode provocar sombreamento, aumentando a respiração e diminuição da TAL (SILVA e LOVATO, 2008).

Almodares et al. (2007c) verificaram que o teor de sacarose nos colmos do sorgo sacarino foram afetados direta e significativamente pelo índice de área foliar (IAF), pela taxa de assimilação líquida (TAL) e pela taxa de crescimento da cultura (TCC).

Gardner et al. (1985) relatam que o aumento de área foliar incrementa a interceptação da radiação e o número de folhas da planta.

Muchow e Davis (1988) observaram que o IAF, longevidade do dossel e eficiência na utilização da luz são afetados pela disponibilidade de N e Lemcoff e Loomis (1986), Uhart e Andrade (1995 b) observaram que a deficiência de N afeta principalmente a área foliar, reduzindo a atividade fotossintética e absorção de luz.

Outro índice, igualmente importante, é o fator de área foliar (FAF) que, multiplicado pelo valor da área da maior folha do milho, estima-se o IAF.

Pereira (1987), em seu estudo de genótipos e populações, identificou o FAF do milho com valor de 9,5.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos com sorgo sacarino foram instalados e conduzidos em locais, delineamentos e objetivos distintos, fazendo-se necessário, identificá-los em ordem numérica, para facilitar a compreensão do trabalho.

4.1. Identificação dos experimentos e localização

O **Experimento 1** foi instalado no município de Orindiúva/SP, com coordenadas geográficas 20°17'17,09"S e 49°15'35,46"O e altitude 419 m, em 22 de janeiro de 2012, em área de pastagem, antecedendo o plantio da cana-de-açúcar.

O **Experimento 2** foi instalado em Uchoa/SP, com coordenadas geográficas 20°53'31,42"S e 49°11'35,21"O e altitude 552 m, em 23 de janeiro do mesmo ano, em área de renovação de canavial.

O **Experimento 3** foi instalado em Uchoa/SP, ao lado do **Experimento 2**, com coordenadas geográficas 20°53'32,05"S e 49°11'36,10"O e altitude 552 m, em 23 de janeiro de 2012, também em área de renovação de canavial.

As áreas dos três experimentos se caracterizam pelo clima Cwa segundo Köppen (mesotérmico, com verões chuvosos e temperatura média do ar, no mês mais quente, maior que 22°C).

Para o **Experimento 1**, os dados pluviométricos foram fornecidos pela Oricana – Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Orindiúva, enquanto que para os **Experimentos 2 e 3**, os dados foram fornecidos pela AFCRC – Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Catanduva (Figura 1).

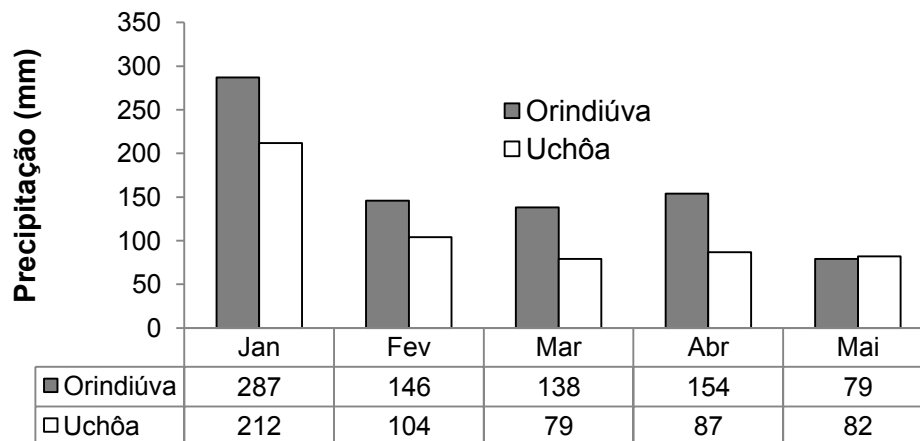


Figura 1: Precipitação nas áreas referentes aos **Experimentos 1, 2 e 3**.

4.2. Caracterização dos solos

A implantação do **Experimento 1**, de Orindiúva foi feita em solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e relevo plano, enquanto os **Experimentos 2 e 3**, de Uchoa, em solo classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico e relevo suave ondulado, conforme indicação da EMBRAPA (2006).

Os principais atributos químicos, pH, M.O., P, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo RAIJ et al. (2001) e físicos, argila, silte e areia, utilizando-se a metodologia da EMBRAPA (1997), foram determinados ou calculados antes da aplicação dos tratamentos e se encontram nas Tabelas 1 e 2.

As amostras de solo foram coletadas após a aplicação do calcário e antes da instalação dos experimentos

Tabela 1: Análise química dos solos coletados previamente à instalação dos experimentos na camada 0-0,2 m.

	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
	em CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			%
Exp. 1	5	13	19	2,3	27	6	25	35,3	60,3	59
Exp. 2 e 3	5,6	9	44	1,6	29	11	15	41,6	56,6	73

Tabela 2: Análise química de micronutrientes, enxofre, alumínio e física, dos solos coletados previamente à instalação dos experimentos, na camada 0-0,2 m.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO ₄	Al	Argila	Silte	Areia
							mmol _c dm ⁻³		g kg ⁻¹	
Exp 1	0,15	2,4	43	34,3	0,8	2	0	140	78	782
Exp. 2 e 3	0,15	2,0	18	14,0	0,8	2	0	174	1	825

4.3. Preparo do solo

Para a instalação do **Experimento 1**, o solo recebeu calagem visando a elevação da saturação por bases a 70% e passou por gradagem pesada para revolvimento do solo e incorporação de restos culturais, uma vez que, anteriormente

ao plantio do experimento, a área era ocupada por pastagem. Após esta operação, foram feitas duas gradagens leves para nivelamento.

A área destinada à condução dos **Experimentos 2 e 3** recebeu calcário para elevação da saturação por bases a 70% e também recebeu gradagem pesada para revolvimento do solo e incorporação de restos culturais, em operação de renovação de canavial.

4.4. Manejo dos experimentos

Previamente ao plantio, as sementes foram tratadas com Fludioxonil 25 g l⁻¹ (150 ml 100 kg sementes⁻¹), Imidacloprid 150 g l⁻¹ + Thiocarb 450 g l⁻¹ (400 ml 100 kg sementes⁻¹) e Thiamethoxam 350 g l⁻¹ (400 ml 100 kg sementes⁻¹).

A adubação fosfatada foi feita integralmente no momento do plantio com a dose de 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto o potássio foi aplicado em duas vezes, 45 kg ha⁻¹ no plantio e 55 kg ha⁻¹ de K₂O no V4 – V5, no momento da aplicação de cobertura da uréia. Todas as parcelas receberam igual dose de fósforo e potássio.

Após a instalação dos experimentos, todas as parcelas receberam capinas manuais periódicas, objetivando o controle de plantas invasoras e desbastes para retirada do excesso de plântulas de sorgo, deixando 8,4 plantas m⁻¹. Também, durante a condução dos experimentos, foram realizadas aplicações de inseticidas para o controle de lagartas.

4.5. Delineamento experimental e tratamentos

4.5.1. Delineamento dos Experimentos 1 e 2

O delineamento utilizado nos **Experimentos 1 e 2** foi o de blocos casualizados, segundo um esquema fatorial 5 x 4 (cinco doses de nitrogênio e quatro cultivares de sorgo sacarino), com três repetições, totalizando 60 parcelas.

As doses do nutriente aplicadas foram 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, sendo, 20 kg ha⁻¹ no sulco de plantio. O restante foi aplicado em cobertura e ao lado da linha de plantio (0,1 m), no estágio V4 – V5 ou segundo terço de EC1 (estádio de crescimento 1), ou seja, quando as plantas estavam com quatro a cinco folhas completamente desenroladas (exceto para o tratamento controle, que não recebeu adubação nitrogenada na semeadura e nem em cobertura). A fonte de nitrogênio utilizada foi a uréia.

Os quatro cultivares de sorgo sacarino utilizados nos experimentos foram CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028. A população utilizada foi de 120.000 plantas ha⁻¹.

A unidade experimental constituiu-se de sete linhas de sorgo sacarino, espaçadas de 0,70 m por cinco metros de comprimento, totalizando 24,5 m². Para obtenção da parcela útil foram descartadas duas linhas de cada lado da parcela, ficando 10,5 m².

Entre os blocos, respeitou-se um espaçamento de 1,4 m, deixando uma linha sem plantio e, entre as parcelas, 1,5 m.

4.5.2. Delineamento do Experimento 3

O delineamento do **Experimento 3** foi o de blocos casualizados, segundo um esquema fatorial 4 x 4 x 2 + 4 (quatro cultivares de sorgo sacarino, quatro estratégias de aplicação de N, dois modos de aplicação e quatro testemunhas), com três repetições, totalizando 108 parcelas.

Os quatro cultivares utilizados foram os mesmos descritos anteriormente para os **Experimentos 1 e 2** e, a dose de nitrogênio aplicada, além do tratamento controle para cada cultivar, foi de 120 kg ha⁻¹, sendo, as seguintes estratégias de aplicação: 120 kg ha⁻¹ de N na semeadura; 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura (estádio V4 – V5); 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura (estádio V4 – V5); 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, 70 kg ha⁻¹ de N em cobertura (estádio V4 – V5) e 30 kg ha⁻¹ de N após dez dias. A fonte de nitrogênio usada foi a uréia.

Os dois modos de aplicação do fertilizante foram o convencional ou sulco (semeadura e coberturas com aplicação de nitrogênio na linha de plantio) e a lanço em área total (semeadura e coberturas).

A unidade experimental constituiu-se de sete linhas de sorgo sacarino, espaçadas de 0,70 m por cinco metros de comprimento, totalizando 24,5 m². Para obtenção da parcela útil foram descartadas duas linhas de cada lado da parcela, ficando 10,5 m².

Entre os blocos, respeitou-se um espaçamento de 1,4 m, deixando uma linha sem plantio e, entre as parcelas, 1,5 m.

4.6. Avaliações

4.6.1. Diagnose foliar de nitrogênio

Foi coletado o terço médio (sem a nervura central) da terceira e da quarta folha (folha +3 e +4) a partir do ápice com o colar visível, no início do estágio de florescimento ou primeiro terço de EC3, ou seja, aproximadamente 70 dias após a germinação para determinação do nitrogênio (COUTINHO et al., 1988).

4.6.2. Índices de área foliar (IAF), altura, diâmetro e número de nós

Devido à falta de metodologia para se conhecer os índices de crescimento do sorgo sacarino e pelo fato destes experimentos não terem por objetivo desenvolver um método próprio para a cultura, primeiramente, no **Experimento 1**, de Orindiuva, foi realizada checagem para averiguação dos critérios utilizados em milho e sorgo granífero, na determinação do fator de forma ou ajuste, para posteriormente adotar aquele que mais se aproximasse das condições reais deste estudo.

No estágio de EC3 (terço médio) foram coletadas todas as folhas intactas de três plantas de cada cultivar, com a mesma dose de nitrogênio e desenhadas em

papel para determinação da área real de cada uma delas, por meio do uso de um planímetro manual.

Posteriormente foram determinadas as medidas do comprimento e maior largura de todas as folhas e utilizados os fatores de forma ou ajuste para cálculo das áreas estimadas das folhas, conforme a Equação 1.

$$AF = C \times L \times F_f \quad [\text{Eq. 1}]$$

sendo: AF: Área foliar (m²)

C: Comprimento do limbo (m)

L: Maior largura do limbo (m)

F_f: Fator de forma ou ajuste

Segundo Montgomery (1911), Vieira Junior (2006) e Francis et al. (1969), o fator de forma, que mais se ajusta para milho é 0,75, enquanto Mckee (1964), Dwyer e Stewart (1986) e Stewart e Dwyer (1999), defendem o valor 0,73, Keating e Wafula (1992) afirmam ser 0,72 e Birch et al. (1998) obtiveram 0,79 como o fator de melhor ajuste. Para Stickler et al. (1961), no entanto, o fator de forma ou fator de ajuste mais adequado para o sorgo granífero é 0,747.

Utilizando-se o estudo de regressão, verificou-se que o fator de forma ou ajuste que resultou em valores mais próximos dos reais, determinados pelo planímetro, foi 0,73 (Figura 2), semelhante ao desenvolvido por Mckee (1964), Dwyer e Stewart (1986) e Stewart e Dwyer (1999), portanto, este valor foi adotado para avaliação da área foliar dos três experimentos.

Para definição do Fator de Área Foliar (FAF) adotado nos experimentos, primeiramente foram somadas as áreas reais das folhas de cada planta, determinadas com o uso do planímetro e, a somatória, foi dividida pela área da maior folha.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p<0,05) e a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey (5%), onde ficou constatada diferença significativa entre os cultivares, divergindo de Pereira (1987).

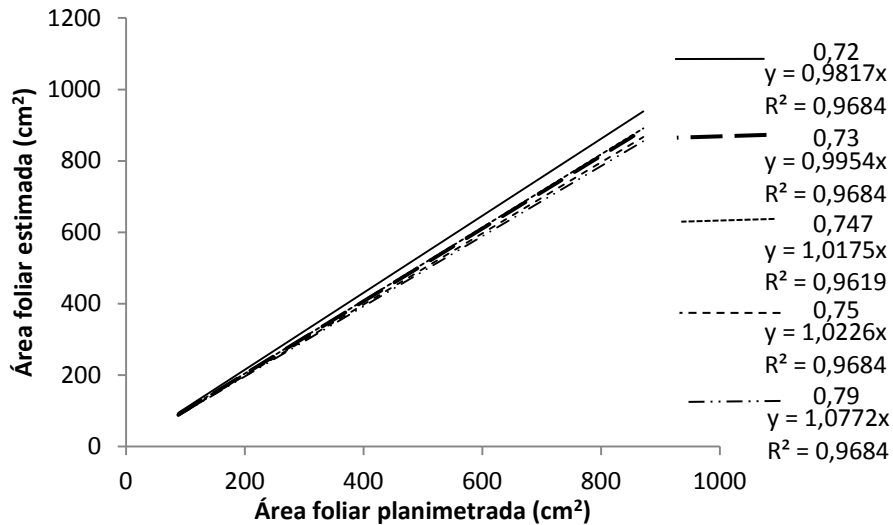


Figura 2: Regressão entre área foliar planimetrada e estimada do sorgo sacarino, com diferentes fatores de forma ou ajuste.

Portanto, os valores de FAF (fator de área foliar) encontrados no **Experimento 1** e utilizados para os quatro cultivares e adotados também nos **Experimentos 2 e 3** foram: 8,1050 para CVSW 80007; 7,7817 para CVW 80147; 9,7483 para CVW 82158 e 10,7633 para CVW 82028.

O IAF foi calculado dividindo-se a área foliar total estimada da planta, pela área do terreno ocupada por ela (Equação 2).

$$\text{IAF} = \text{AF} \times \text{FAF} / A \quad [\text{Eq. 2}]$$

sendo: IAF: Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)

AF: área foliar da maior folha

FAF: Fator de área foliar

A: área do terreno ocupado por uma planta (m^2)

No momento da colheita, foram amostradas cinco plantas de cada parcela para contagem de nós e medições de altura e diâmetro na base dos colmos. A altura das plantas foi medida até a inserção da última folha.

4.6.3. Partição de N na fitomassa

No momento da colheita, ou seja, no estágio de grão “mole” ou terço médio de EC3, foram coletadas amostras com cinco plantas de cada parcela, para determinação da partição do nitrogênio na fitomassa da parte aérea.

Para o **Experimento 1**, as amostras foram lavadas em água corrente, trituradas, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante, sendo, em seguida, moídas em moinho Willey e determinadas as massas secas de colmos, folhas e panículas. O teor de nitrogênio de cada parte da planta foi determinado pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 2006).

A metodologia de análise utilizada nos **Experimentos 2 e 3** foi a mesma descrita acima, exceto na separação da parte aérea das plantas. Nestes experimentos as plantas foram separadas em colmos e folhas mais panículas, ou seja, foram juntadas as folhas com as panículas.

4.6.4. Análises tecnológicas

Na ocasião da colheita, foram coletadas amostras com dez colmos sem palha e panícula de cada parcela para realização de análises tecnológicas do sorgo sacarino. Foram determinados Brix e Pol do caldo, Pol, Fibra, PBU e PBS do colmo e calculados os valores de AR do caldo (Equação 3) e ARC (Equação 4) e ATR dos colmos (Equação 5) segundo método da CONSECANA (2006). Também foi calculada a produtividade de etanol (Equação 6), em função do Brix e quantidade produzida de suco por hectare (WORTMANN et al., 2010).

$$AR = 3,641 - 0,0343 \times P \quad [\text{Eq.3}]$$

sendo:P: Pureza

$$P = 100 \times \text{POL} / B$$

$$POL = LPb \times (0,2605 - 0,0009882 \times B)$$

sendo:LPb: Leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo

B: Brix (%)

$$ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad [Eq.4]$$

sendo:AR: Açúcar recuperável do caldo

F: Fibra

C: Coeficiente para transformar Pol em PC

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F$$

$$PC = POL \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

sendo:POL: Pol do caldo

$$F = [(100 \times PBS) - (PBU \times B)] + [5 \times (100 - B)]$$

sendo: PBS: Peso do bagaço seco

PBU: Peso do bagaço úmido

$$ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC \quad [Eq. 5]$$

sendo:PC: Pol da cana

ARC: Açúcares redutores da cana

$$P.E. = A.F. \times 665 \quad [Eq. 6]$$

sendo:P.E.: produtividade de etanol (l ha⁻¹)

A.F.: açúcar fermentável (t ha⁻¹)

$$A.F. = Q.S. \times Brix \times 0,75$$

sendo: Q.S.: quantidade de suco (t ha⁻¹)

B: Brix (kg t⁻¹)

4.6.5. Produtividade de colmos

As parcelas úteis foram colhidas manualmente, retiradas as folhas e panículas, pesadas e, seus valores, transformados em $t\ ha^{-1}$.

O **Experimento 1**, de Orindiúva, foi colhido em 28 de abril de 2012 e, nos **Experimentos 2 e 3**, de Uchoa, a colheita foi realizada em 13 de abril do mesmo ano.

4.6.6. Eficiência nutricional de N

Para avaliação da eficiência nutricional dos tratamentos, nos **Experimentos 1, 2 e 3**, foram medidas as Eficiências Agronômica, Fisiológica e Agrofisiológica segundo Fageria (1998) e Eficiências de Uso, Absorção, Utilização e Translocação, segundo Moll et al. (1982).

$$\text{Ef. Agronômica (kg kg}^{-1}\text{)} = (PC_c - PC_s)/N_a$$

sendo: PC_c : produtividade de colmos por hectare, com aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

PC_s : produtividade de colmos por hectare, sem aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

N_a : nitrogênio aplicado ($kg\ ha^{-1}$)

$$\text{Ef. Fisiológica (kg kg}^{-1}\text{)} = (MS_c - MS_s)/(N_{tc} - N_{ts})$$

sendo: MS_c : massa da matéria seca total com aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

MS_s : massa da matéria seca total sem aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

N_{tc} : nitrogênio na massa da MS total com aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

N_{ts} : nitrogênio na massa da MS total sem aplicação de N ($kg\ ha^{-1}$)

$$\text{Ef. Agrofisiológica ou de Produção (kg kg}^{-1}\text{)} = (PC_c - PC_s)/(N_{tc} - N_{ts})$$

$$\text{Ef. de Uso (kg kg}^{-1}\text{)} = PC^*/N_a.$$

sendo: PC : produtividade de colmos ($kg\ ha^{-1}$)

Ef. de Absorção (kg kg^{-1}) = N_t/N_a

sendo: N_t : nitrogênio na massa da matéria seca total (kg ha^{-1})

Ef. de Utilização (kg kg^{-1}) = PC/N_t

Ef. de Translocação (kg kg^{-1}) = N_c/N_t

sendo: N_c : nitrogênio na MS do colmo (kg ha^{-1})

4.7. Análises estatísticas

Para avaliação dos tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$).

Os tratamentos qualitativos que apresentaram diferenças significativas tiveram as médias dos resultados comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os tratamentos quantitativos que apresentaram diferenças significativas, foram realizadas análises de regressão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Diagnose foliar para nitrogênio

Nos experimentos instalados em Orindiúva e Uchoa observou-se diferenças significativas nos valores das concentrações foliares de nitrogênio, entre os cultivares testados e entre as doses aplicadas do nutriente. Verificou-se também interação entre os fatores (Tabela 3).

Fazendo o desdobramento das análises de variância, foi possível verificar que todos os cultivares avaliados em Orindiúva tiveram seus valores aumentados em função das doses aplicadas do nutriente, enquanto em Uchoa, os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 não demonstraram diferenças significativas à aplicação dos

tratamentos. O cultivar CVW 82158 apresentou ajuste quadrático crescente na concentração foliar de N e CVW 82028 apresentou ajuste quadrático decrescente, em função da aplicação de doses de nitrogênio (Figura 3).

Tabela 3: Concentração de N para diagnose foliar em sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de nitrogênio.

Causa de Variação	Concentração foliar de N	
	Orindiúva	Uchoa
	.....g kg ⁻¹	
Cultivar		
CVSW 80007	31,88 b	33,41 b
CVW 80147	32,02 ab	32,61 b
CVW 82158	31,60 b	34,90 a
CVW 82028	32,53 a	32,98 b
Teste F	7,57**	9,08**
Dose		
kg ha ⁻¹		
0	31,03 b	32,16 b
40	31,02 b	32,34 b
80	32,42 a	34,70 a
120	32,63 a	32,84 b
160	32,94 a	35,33 a
Teste F	33,96**	14,99**
Teste F (Interação)		
Cultivar x Dose	2,54*	17,91**
C.V.	1,71	3,86

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Avaliando os cultivares, as estratégias e modos de aplicação do nitrogênio, nos quatro cultivares de sorgo sacarino, **Experimento 3**, foi possível constatar que os cultivares e as estratégias de aplicação nitrogenada influenciaram na concentração foliar de N, enquanto, o modo de aplicação de nitrogênio e as testemunhas não apresentaram diferenças significativas. Observou-se também que não houve interação entre os fatores (Tabela 4).

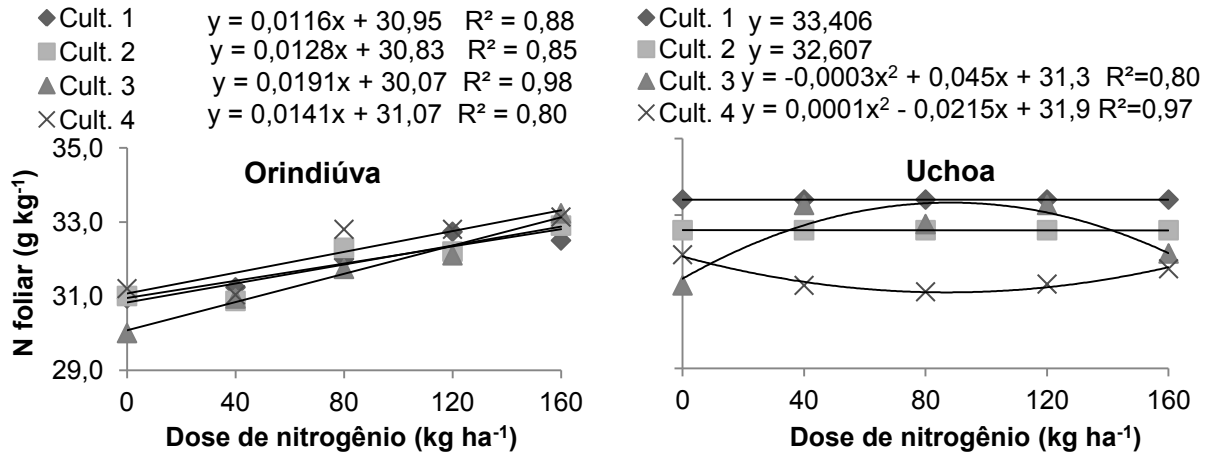


Figura 3: Concentração foliar de N, em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028, respectivamente Cult. 1, 2, 3 e 4, de sorgo sacarino e dose de nitrogênio

Observou-se que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82158 apresentaram resultados superiores aos demais, enquanto a estratégia de aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio no momento da semeadura proporcionou valores de N foliar significativamente superiores à aplicação do nutriente em estágio V4-V5 (Figura 4).

Os nutrientes têm funções essenciais e específicas no metabolismo das plantas. Os sintomas de deficiências minerais são características para cada nutriente, dependendo também da severidade, do cultivar e de fatores ambientais (COELHO et al., 2002).

Tabela 4: Concentração de N para diagnose foliar em sorgo sacarino, em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.

	Concentração foliar de N (g kg ⁻¹)				Interações		Teste F	
	Cultivar	Estratégia	Modo	Testemunha	C x E	C x M		
CVSW 80007	34,91 ab	E1	35,68 a	M1	34,83 a	T1	34,07 a	0,86 ^{NS}
CVW 80147	34,50 b	E2	34,54 b	M2	35,03 a	T2	33,03 a	1,78 ^{NS}
CVW 82158	35,83 a	E3	34,65 ab			T3	34,57 a	0,61 ^{NS}
CVW 82028	34,46 b	E4	34,83 ab			T4	33,73 a	6,52*
Teste F	5,18**	3,36*	0,51 ^{NS}	0,66 ^{NS}	C.V.			3,95

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, ^{NS} não significativo.
letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Em Orindiúva, as doses de nitrogênio proporcionaram aumentos lineares nas concentrações foliares em todos os cultivares (Figura 3), sugerindo que, a adubação nitrogenada, possa ser uma boa técnica para incrementar a absorção do nutriente,

porém, em Uchoa, isto não ficou evidente, pois os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 foram indiferentes à aplicação de ureia para esta variável, o CVW 82158 apresentou ajuste quadrático crescente e, o CVW 82028, ajuste quadrático decrescente (Figura 3).

No **Experimento 3**, os tratamentos não apresentaram interação significativa e, os cultivares com maiores resultados para N foliar foram o CVSW 80007 e CVW 82158 (Figura 4).

O conhecimento dos cultivares e dose, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio na cultura do sorgo sacarino pode contribuir na identificação de genótipos melhores adaptados na captação de nutrientes e transformação destes em compostos orgânicos, aumentando assim a produtividade das plantas.

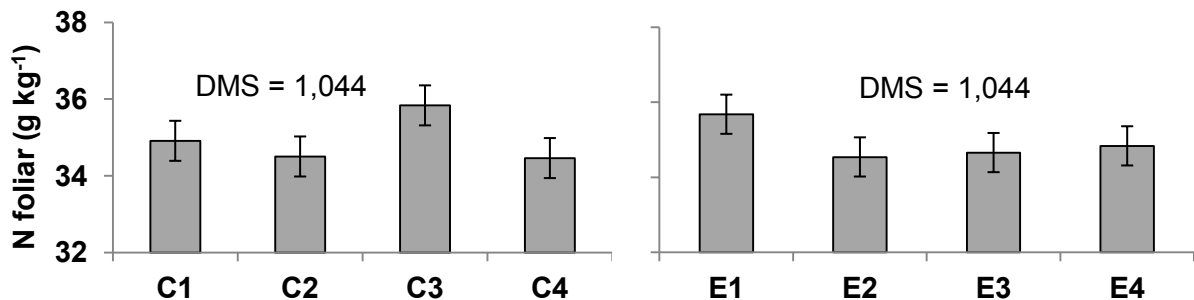


Figura 4: Concentração foliar de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e E1, E2, E3 e E4 referem-se as estratégias adotadas

França et al. (1994), trabalhando com milho, verificaram que a taxa fotossintética apresentou uma relação linear em função da disponibilidade de N e, a omissão deste nutriente provocou redução dos seus teores em todas as partes da planta, como constatado por Amaral (1999) em manjeriço e Viégas et al. (2002) em gravioleira.

Normalmente a parte amostrada dos tecidos vegetais para identificação do estado nutricional da planta é composta pelas folhas, por serem estas, a sede do metabolismo vegetal e refletir bem as mudanças nutricionais ao longo do ciclo da cultura. Observa-se estreita correlação entre concentrações foliares e estado nutricional da planta, sobretudo, quando se trata de nutrientes móveis no floema e com pronta redistribuição na planta, pois desarranjos nutricionais devidos a

deficiências podem ser facilmente localizados com esta técnica (EPSTEIN, 1975), como é o caso do nitrogênio.

Os valores de concentração foliar de N encontrados neste trabalho variaram de 31,02 a 35,83 g kg⁻¹, considerando os dois experimentos, cujas variáveis foram cultivares de sorgo sacarino e doses de nitrogênio e um experimento, com variáveis cultivares de sorgo sacarino e estratégias e modos de aplicação do nutriente (Tabelas 3 e 4).

Martinez et al. (1999), estudando a cultura do sorgo granífero, apontaram valores variando entre 23,1 e 29,0 g de N kg⁻¹ como sendo adequados para a boa nutrição das plantas. Coutinho et al. (1985), no entanto, encontraram concentrações foliares de nitrogênio em sorgo sacarino variando entre 29,3 e 32,0 g kg⁻¹, quando da aplicação de calcário.

5.2. Partição de N na planta

Em Orindiúva foram constatadas alterações significativas nas concentrações de N e no N acumulado na massa da matéria seca das diversas partes das plantas. Observou-se também que houve interação significativa entre os cultivares e doses para as variáveis em estudo (Tabela 5).

No estudo das interações, observou-se que os cultivares de sorgo sacarino apresentaram aumentos da concentração de N no colmo, em função das doses de nitrogênio aplicadas (Figura 5).

Para acúmulo de N na massa da matéria seca do colmo, verificou-se que o cultivar CVW 82028 se destacou significativamente dos demais (Figura 5).

O cultivar CVW 80147 apresentou resultados significativamente superiores aos outros cultivares na concentração de N, junto com CVSW 80007, e N acumulado na massa da matéria seca das folhas (Figura 6).

Da mesma forma, estudando a interação entre cultivares e doses de nitrogênio na concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca das panículas do sorgo sacarino, observou-se que o cultivar CVW 82158 apresentou resultados significativamente superiores aos demais para estas variáveis (Figura 7).

Tabela 5: Partição de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Dados do experimento de Orindiúva

Causa de Variação	Concentração de N			N na massa da matéria seca			
	Colmo	Folha	Panícula	Colmo	Folha	Panícula	Total
	..... g kg ⁻¹ .....			..... kg ha ⁻¹			
Cultivar							
CVSW 80007	3,55 c	18,85 a	16,02 c	66,72 d	51,93 d	36,29 c	154,33 d
CVW 80147	4,11 a	19,24 a	15,09 d	79,17 b	79,56 a	49,70 b	206,06 c
CVW 82158	3,74 bc	17,91 b	17,77 a	86,59 c	71,84 b	62,42 a	221,60 a
CVW 82028	4,04 ab	18,03 b	17,13 b	96,33 a	65,55 c	50,21 b	212,58 b
Teste F	10,81**	16,88**	84,17**	47,22**	85,36**	106,36**	345,67**
Dose							
kg ha ⁻¹							
0	2,61 d	17,06 c	15,62 c	46,45 d	51,47 d	35,42 d	135,20 e
40	3,05 c	17,41 c	16,46 b	65,29 c	58,10 c	43,35 c	164,02 d
80	3,88 b	18,97 b	16,56 b	86,38 b	70,54 b	53,10 b	205,36 c
120	4,19 b	19,05 b	16,43 b	94,12 b	72,82 b	57,37 ab	226,88 b
160	5,57 a	20,05 a	17,32 a	118,77 a	83,18 a	59,04 a	261,74 a
Teste F	165,32**	50,77**	18,54**	185,41**	78,46**	75,05**	760,47**
Teste F (Interação)							
Cultivar x Dose	2,26*	5,78**	4,67**	3,84**	5,85**	10,58**	24,85**
C.V.	8	3,27	2,94	8,56	7,29	8,07	3,17

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

O cultivar CVSW 80007 apresentou ajuste linear crescente para N foliar e N acumulado na massa seca das panículas, CVW 80147 obteve ajuste quadrático crescente, CVW 82158 apresentou ajuste linear crescente para concentração de N foliar e quadrático decrescente para N acumulado na matéria seca e, CVW 82028 demonstrou ajuste quadrático decrescente para concentração de N e quadrático crescente para N acumulado na massa da matéria seca (Figura 7).

A análise de variância do **Experimento 2** demonstra que houve diferenças significativas nos valores de concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca dos colmos e folhas + panículas em função dos cultivares de sorgo sacarino avaliados e das doses de nitrogênio aplicadas. Observou-se também interação dos fatores (Tabela 6).

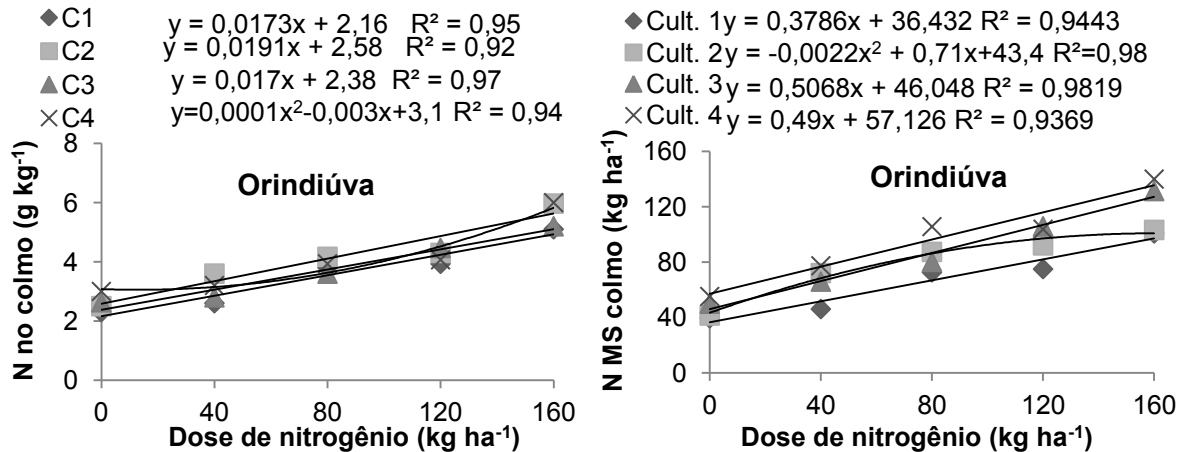


Figura 5: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca dos colmos de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

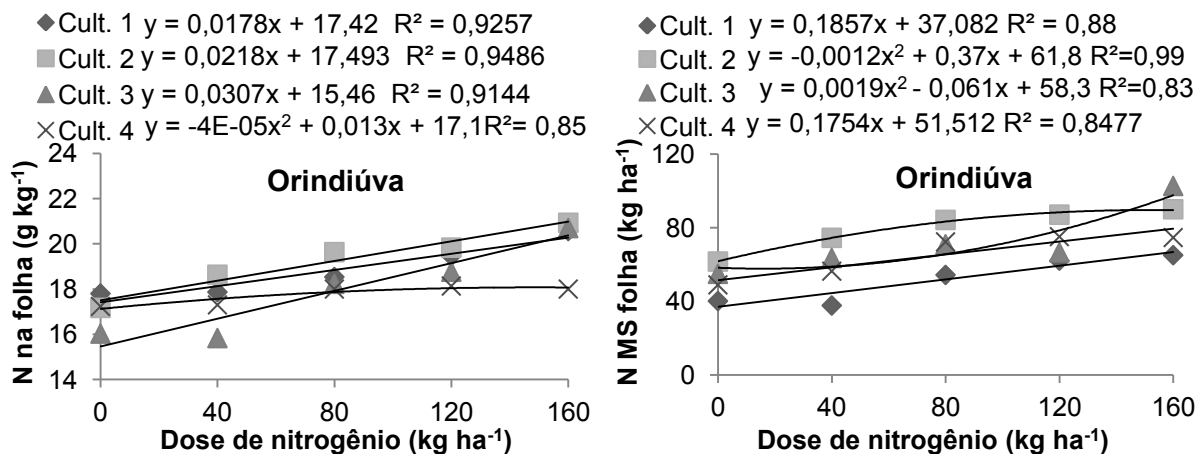


Figura 6: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca das folhas de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Com o estudo da interação é possível verificar que os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 tiveram um ganho significativo na concentração de N no colmo em função das doses de N e que, os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 não foram influenciados pelas doses do nutriente. Verificou-se também que todos os cultivares tiveram aumentos significativos no N acumulado na matéria seca do colmo em função da aplicação de nitrogênio (Figura 8).

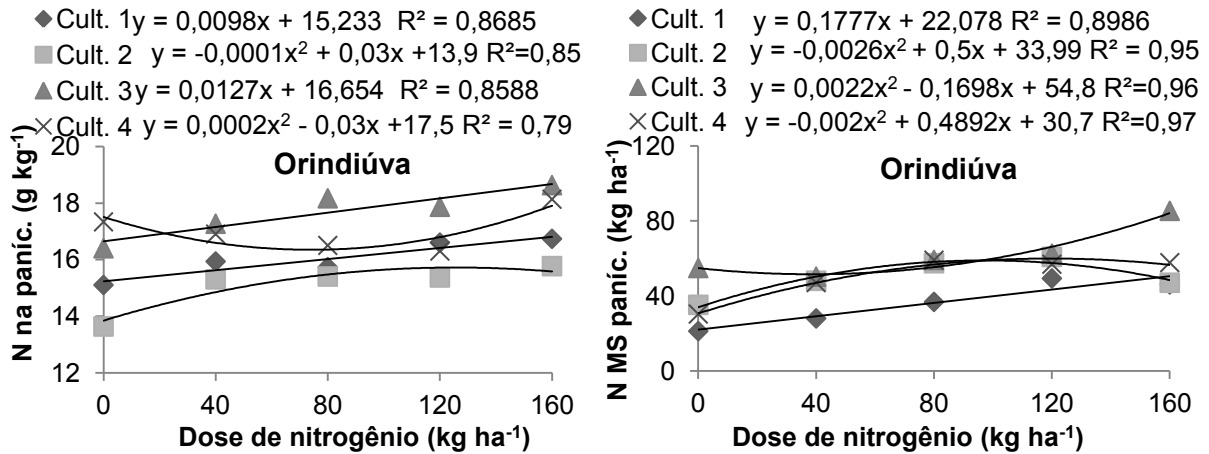


Figura 7: Concentrações de N e acúmulo de N na massa da matéria seca das panículas de sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Tabela 6: Partição de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Dados do experimento de Uchoa

Causa de Variação	Concentração de N		N na massa da matéria seca		
	Colmo	P + F	Colmo	P + F	Total
	..... g kg ⁻¹ .....		..... kg ha ⁻¹		
Cultivar					
CVSW 80007	5,27 c	20,75 a	111,01 b	153,69 d	262,51 d
CVW 80147	5,55 b	20,82 a	112,14 b	235,60 b	343,64 b
CVW 82158	5,77 b	20,35 b	145,45 a	251,97 a	398,51 a
CVW 82028	6,25 a	20,33 b	146,47 a	193,83 c	339,33 c
Teste F	36,75**	3,22*	161,28**	200,11**	11628,75**
Dose					
kg ha ⁻¹					
0	5,37 b	19,74 d	107,76 d	179,91 b	284,05 e
40	6,08 a	20,11 cd	129,63 bc	186,33 b	317,54 d
80	5,52 b	21,38 a	125,58 c	225,25 a	347,36 c
120	5,59 b	20,91 ab	135,11 b	224,01 a	359,61 b
160	6,01 a	20,68 bc	145,74 a	228,34 a	371,43 a
Teste F	16,71**	16,23**	63,81**	45,69**	3706,36**
Teste F (Interação)					
Cultivar x Dose	39,12**	7,20**	37,48**	4,80**	508,44**
C.V.	4,64	2,70	4,70	5,79	0,60

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

O experimento de Uchoa apresentou os maiores valores no acúmulo de N no colmo para os cultivares CVW 82158 e CVW 82028, em função das doses de nitrogênio (Figura 8).

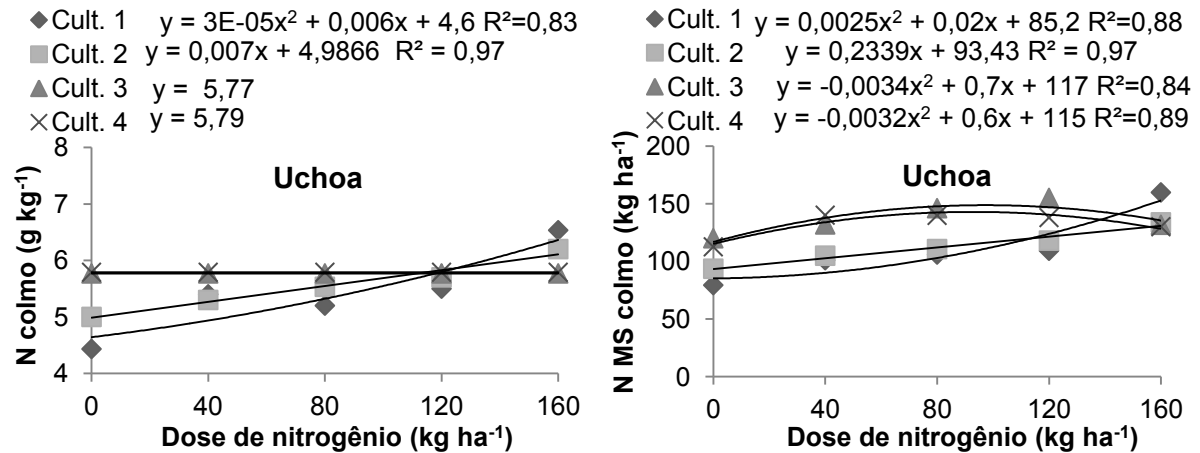


Figura 8: Concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca dos colmos do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Para concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca das folhas + panículas, referentes ao experimento de Uchoa, pôde-se observar que as doses de nitrogênio aumentaram os valores das duas variáveis em todos os cultivares avaliados, sendo que, os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram tendência quadrática crescente e, CVW 80147 e CVW 82158, linear crescente para concentração de N foliar. Os cultivares CVW 80147 e CVW 82158 obtiveram maiores valores para o N acumulado na massa da matéria seca (Figura 9).

Observando o comportamento do N na massa da matéria seca total do sorgo sacarino nos experimentos instalados em Orindiúva e Uchoa, é possível verificar que todos os cultivares estudados, CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 tiveram ganhos significativos, em função das doses de nitrogênio aplicadas (Figura 10).

Para as variáveis concentração de N no colmo, nitrogênio acumulado no colmo e nitrogênio total na massa da matéria seca, quando da condução do **Experimento 3**, que envolvem cultivares, estratégias e modos de aplicação de N na cultura do sorgo sacarino, observou-se que os fatores tiveram resultados significativamente diferentes e que houve interação entre eles (Tabela 7).

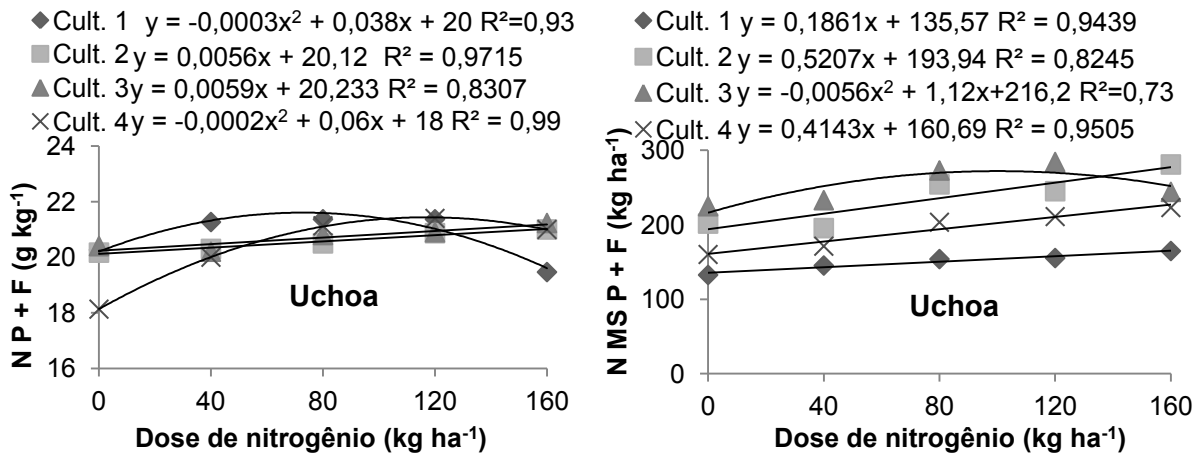


Figura 9: Concentração de N e N acumulado na massa da matéria seca das folhas + panículas do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

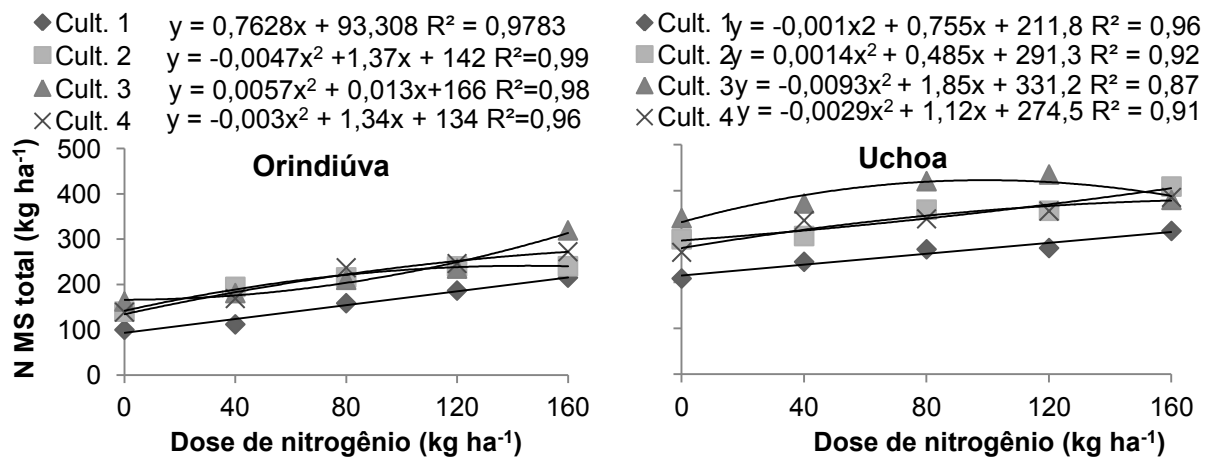


Figura 10: N acumulado na massa da matéria seca da parte aérea do sorgo sacarino, nos de Orindiúvae Uchoa, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Observou-se também que, para concentração de N na panícula + folha, as testemunhas e a interação entre cultivares e modos de aplicação de N apresentaram resultados não significativos e, para N acumulado na massa da matéria seca da panícula + folha, os modos de aplicação de N também não tiveram seus valores alterados em função dos tratamentos aplicados (Tabela 7).

Fazendo o desdobramento da análise de variância foi possível observar que, para concentração de N no colmo, a testemunha do cultivar CVW 82028 de sorgo

sacarino obteve resultados significativamente maiores que os outros cultivares (Figura 11).

Tabela 7: Partição de N no colmo e panícula + folha em sorgo sacarino do **Experimento 3**, em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.

Causa de Variação	Concentração de N		N na massa da matéria seca		
	Colmo	P + F	Colmo	P + F	Total
	.....g kg ⁻¹.....		.....kg ha ⁻¹		
Cultivar					
CVSW 80007	5,73 c	21,06 b	142,39 d	139,86 d	282,60 d
CVW 80147	6,35 a	21,60 a	167,03 c	224,71 a	401,90 a
CVW 82158	6,50 a	21,75 a	184,69 a	210,60 b	396,50 b
CVW 82028	6,09 b	20,68 b	175,71 b	187,28 c	371,70 c
Teste F	25,05**	14,87**	84,15**	118,56**	1590,98**
Estratégia					
E1	6,31 a	21,64 a	169,56 ab	183,22 b	355,60 b
E2	6,03 b	20,70 b	161,09 c	191,33 ab	357,30 b
E3	5,94 b	21,40 a	165,59 bc	198,29 ab	368,50 a
E4	6,38 a	21,35 a	173,58 a	189,62 a	371,20 a
Teste F	10,12**	8,80**	7,28**	3,29*	32,11**
Modo					
M1	5,99 b	20,92 b	161,68 b	191,21 a	357,80 b
M2	6,35 a	21,63 a	173,23 a	190,02 a	368,50 a
Teste F	28,39**	31,23**	33,89**	0,12^{NS}	59,93**
Interações					
Cult. X Estrat.	14,93**	4,98**	26,01**	15,47**	224,63**
Cult. X Modo	3,88*	2,49 ^{NS}	3,57*	18,64**	179,07**
Estrat. X Modo	4,24**	24,17**	9,09**	8,92**	90,85**
Cult. X Estr. x Modo	3,78**	5,40**	7,09**	2,78**	38,29**
Testemunha					
T1	5,23 b	20,67 a	112,39 b	109,74 b	217,80 c
T2	5,20 b	21,27 a	117,56 b	186,15 a	306,30 b
T3	5,23 b	21,13 a	129,95 b	187,67 a	313,30 b
T4	6,57 a	20,10 a	166,23 a	172,28 a	333,50 a
Teste F	12,35**	2,16^{NS}	18,71**	14,51**	170,86**
Interação					
Test. x Fatorial	35,82**	6,34*	145,71**	27,07**	1146,34**
C.V.	5,43	2,93	5,95	8,92	1,91

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, ^{NS} não significativo.
letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

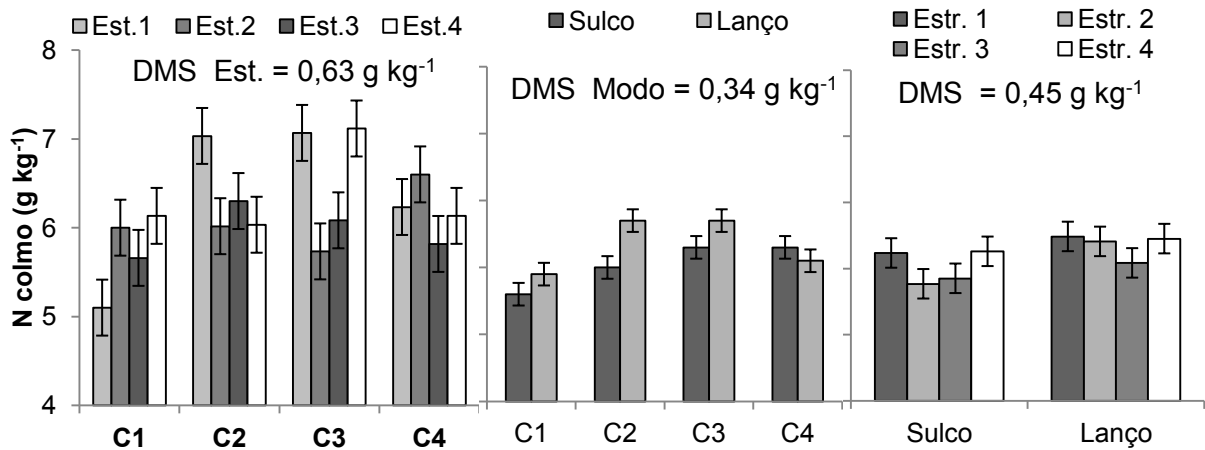


Figura 11: Concentração de N no colmo do sorgo sacarino, em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

As estratégias de aplicação de N afetaram os valores desta variável, porém de forma irregular em função dos cultivares avaliados. No cultivar CVSW 80007, a estratégia E1, que é a aplicação de todo N no momento da semeadura, apresentou resultados inferiores, diferentemente do cultivar CVW 80147, onde a estratégia E1 se destacou. No cultivar CVW 82158, a estratégia E1 e E4 se destacaram e, no cultivar CVW 82028, a estratégia E3 obteve a pior resposta, ficando abaixo dos outros cultivares, que não diferenciaram significativamente entre si (Figura 11).

O estudo de interação demonstrou que, para aplicação no sulco de plantio, as estratégias E1 e E4 se destacaram das demais, porém na aplicação a lanço, as estratégias empregadas não modificaram os resultados da concentração de N no colmo (Figura 11).

Observou-se também que para os cultivares CVW 80147 e CVW 82158, a aplicação de nitrogênio a lanço resultou em valores maiores para concentração de N no colmo e que, para os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028, os modos de aplicação não influenciaram nos resultados (Figura 11).

Observou-se que, dentro do cultivar CVSW 80007, a estratégia E4 proporcionou valores maiores de N na massa da matéria seca nos colmos de sorgo sacarino, enquanto que no cultivar CVW 80147, as estratégias E1 e E3 foram melhores, em CVW 82158, as estratégias E1 e E4 se sobressaíram e, em CVW 82028, as estratégias E1, E2 e E4 foram melhores para esta variável, não diferindo entre si (Figura 12).

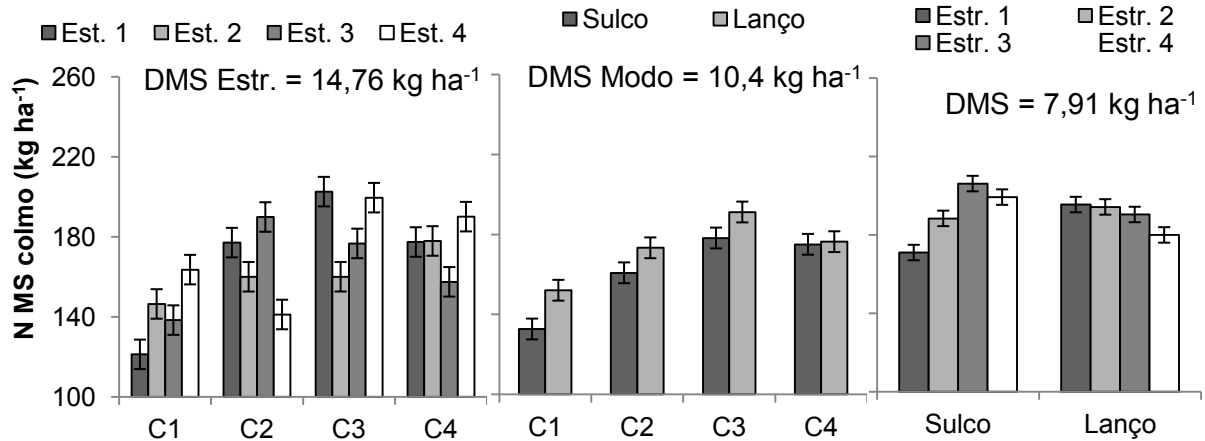


Figura 12: N acumulado na massa da matéria seca dos colmos do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

A aplicação a lanço se destacou da aplicação no sulco nos cultivares CVSW 80007, CVW 80147 e CVW 82158, enquanto que, o cultivar CVW 82028, não apresentou resultados distintos para os modos de aplicação de nitrogênio (Figura 12).

A estratégia E4 promoveu melhores valores de N na massa da matéria seca dos colmos para aplicação no sulco, enquanto que, para aplicação a lanço, as estratégias não diferiram entre si (Figura 12).

Dentro das testemunhas, o cultivar CVW 82028 apresentou valores de N na massa da matéria seca nos colmos superiores aos dos outros cultivares, que não diferiram entre si (Figura 12). Resultados semelhantes foram observados nos **Experimentos 1 e 2**, onde o cultivar CVW 82028 também se destacou no estudo desta variável (Tabelas 5 e 6).

Para concentração de N nas panículas + folhas, apenas o cultivar CVSW 80007 apresentou diferença significativa em função da estratégia de aplicação nitrogenada adotada, sendo que a E2 ficou abaixo das demais estratégias. Os valores das testemunhas também não diferiram entre si (Figura 13).

Apenas os valores do cultivar CVSW 80007 foram significativamente diferentes em função do modo de aplicação de nitrogênio, sendo que, a lanço obteve melhores respostas que a aplicação no sulco de plantio. Os outros cultivares obtiveram resultados semelhantes quanto ao modo de aplicação (Figura 13).

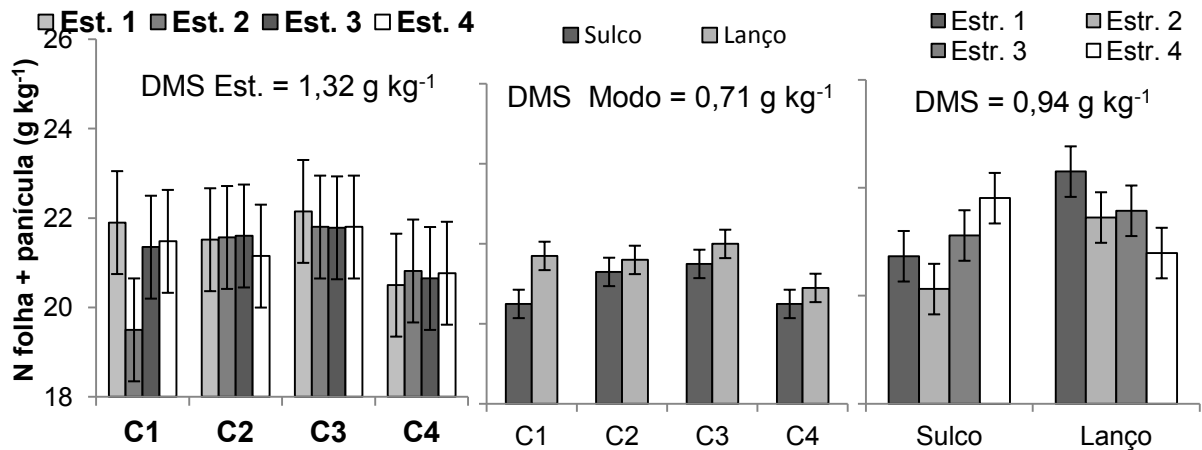


Figura 13: Concentração de N nas panículas + folhas do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Dentro da aplicação no sulco, a estratégia com o maior parcelamento do nitrogênio, obteve valores de N acumulado na folha + panícula superior as estratégias E1 e E2, sem parcelamento. Dentro da aplicação a lanço, a estratégia E1, todo nitrogênio aplicado na sementeira, apresentou resultados superiores à estratégia E4 (Figura 13).

Para a variável N acumulado na massa da matéria seca das panículas + folhas observou-se que no cultivar CVSW 80007 a estratégia E4 se sobressaiu as outras estratégias, no CVW 80147 a melhor estratégia foi a E3, no CVW 82158 não houve diferença significativa e, no CVW 82028 as melhores estratégias foram as E1, E2 e E4 (Figura 14).

Apenas no cultivar CVW 80007 houve diferença significativa quanto ao modo de aplicação, sendo que a aplicação a lanço foi melhor que a aplicação no sulco. Para os demais cultivares, os modos de aplicação de N não diferiram os resultados (Figura 14).

Para aplicação de N no sulco a estratégia E4 se destacou da E1 e não diferiu significativamente de E2 e E3. Para aplicação a lanço todas as estratégias apresentaram resultados semelhantes (Figura 14).

Na determinação do N na massa da matéria seca total do sorgo sacarino, os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 obtiveram maiores resultados com a estratégia E4, para CVW 80147 foi a estratégia E3 e, para CVW 82158 foi a

estratégia E1. Verificou-se também que para os cultivares CVSW 80007, CVW 82158 e CVW 82028 a aplicação a lanço apresentou resultados melhores, enquanto que para CVW 80147, a aplicação no sulco foi melhor (Figura 15).

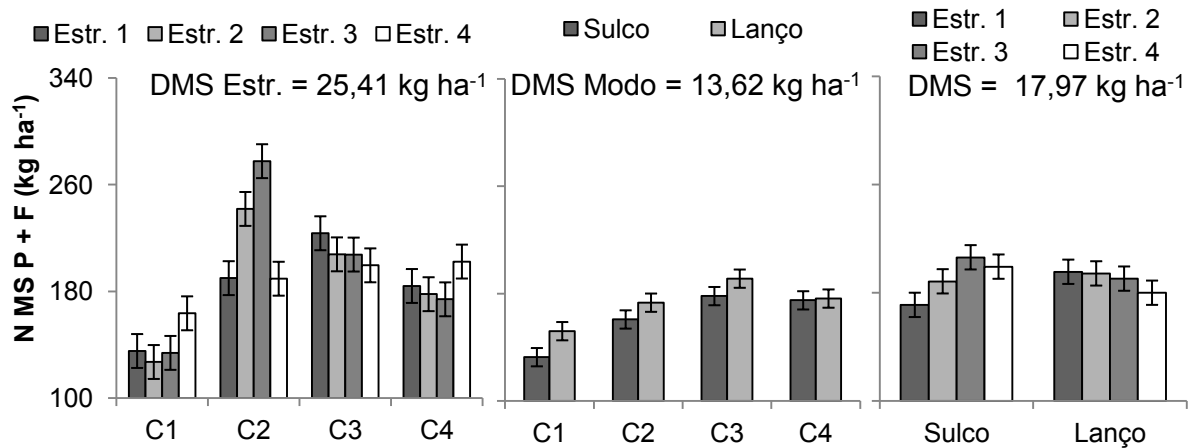


Figura 14: N na massa da matéria seca das panículas + folhas do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Ainda, para aplicação no sulco, as estratégias E3 e E4, com parcelamento, tiveram resultados superiores a que E1 e E2 e, para aplicação a lanço, a estratégia E1 apresentou valores significativamente maiores para N acumulado na massa da matéria seca total do sorgo sacarino (Figura 15).

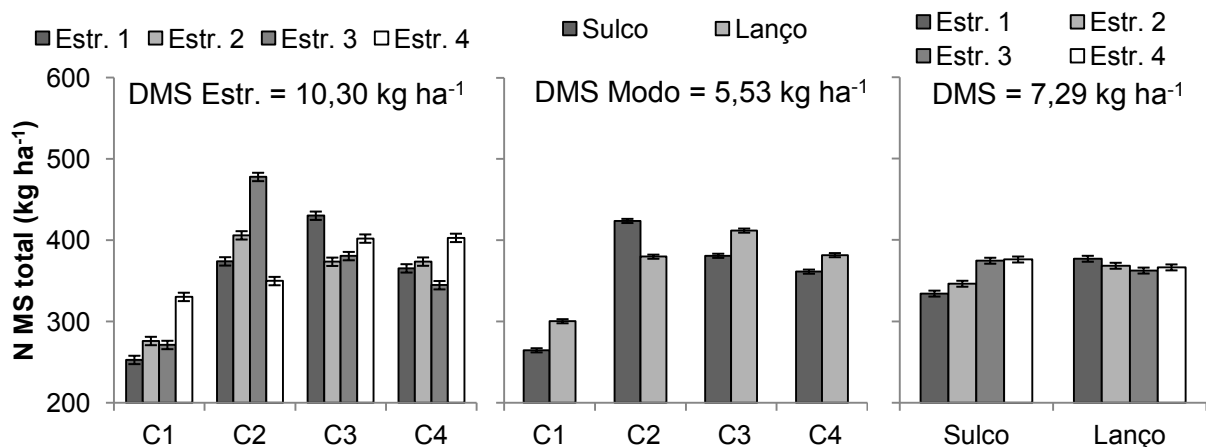


Figura 15: N na massa da matéria seca total do sorgo sacarino em função dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Santi et al. (2006) destacam que, dentro de uma ordem de importância, as plantas de sorgo diminuem a produção de massa de matéria seca total, por meio da omissão dos seguintes nutrientes: para colmo $N > Mg > Ca > K > P > S$, para folha $Ca > N > Mg > P > K > S$ e, para raiz $Ca > Mg > N > K > S > P$. Os autores afirmam também que a omissão de N ocasiona redução no teor desse nutriente em todas as partes da planta, fato relatado anteriormente por Amaral (1999) e Viégas et al. (2002).

Observa-se que o cultivar CVSW 80007 apresentou os valores inferiores de concentração e acúmulo de N no colmo no experimento de Orindiúva (Figura 5) e no experimento de Uchoa até 120 kg ha^{-1} de N aplicados (Figura 8), culminando em resultados inferiores aos demais em massa da matéria seca total do sorgo sacarino (Figura 10), possivelmente devido à importância deste nutriente nos colmos, concordando com resultados de Santi et al. (2006).

Da mesma forma, CVSW 80007 apresentou valores intermediários para concentrações de N nas folhas e panículas do experimento de Orindiúva e resultados inferiores aos demais para nitrogênio acumulado nestes órgãos (Figura 6 e 7), promovendo valores reduzidos na massa da matéria seca total do sorgo (Figura 8). No experimento de Uchoa, entretanto, a concentração de N na folha + panícula apresentou acréscimo inicial, porém não sendo suficiente para melhorar o acúmulo de N na matéria seca das folhas + panículas e massa da matéria seca total das plantas, reforçando a importância do nitrogênio para a cultura do sorgo, semelhante a Santi et al. (2006).

Outra informação interessante obtida neste trabalho foi a de que, embora a concentração de nitrogênio no colmo do sorgo sacarino seja inferior a da folha e panícula, observou-se que o N acumulado nos colmos, no momento da colheita, apresentou valores superiores aos dos outros órgãos da planta. Isto se deve ao fato de a massa da matéria seca dos colmos neste estágio de desenvolvimento do sorgo ser maior do que a massa das folhas e panículas, semelhante aos resultados de Han et al. (2011).

Verificou-se também neste estudo que o acúmulo de N na massa da matéria seca total em Orindiúva variou de $154,33$ a $261,74 \text{ kg ha}^{-1}$ e, em Uchoa e no experimento 3, de $262,31$ a $371,43 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabelas 5, 6 e 7).

Em experimento conduzido com sorgo sacarino, Han et al. (2011) encontraram valores 128 a 339 kg ha⁻¹ de N após 40 dias da antese.

Portanto, o nitrogênio acumulado na massa da matéria seca da planta superou a quantidade máxima aplicada do nutriente neste experimento (maior dose com 160 kg ha⁻¹), sugerindo haver outras formas de se conseguir o nutriente para nutrição da cultura do sorgo sacarino, além das fertilizações nitrogenadas.

Moll et al. (1982), estudando eficiências nutricionais na cultura do milho, destacam que, devido à complexa dinâmica do nitrogênio no solo, envolvendo principalmente mineralização, absorção e lixiviação, é possível que a planta absorva mais N do que o aplicado via adubação. Concluíram, dizendo que, normalmente as plantas absorvem o dobro do nitrogênio aplicado via adubações.

Stevenson (1985) destaca que mesmo utilizando as melhores práticas agrícolas para a aplicação de nitrogênio para fertilização de plantas, geralmente ocorrem perdas de 30 a 50% do nutriente, enquanto que Peoples et al. (1995) afirmam que aproximadamente 40 a 50% do nitrogênio aplicado via fertilizante é absorvido pelas plantas em condições de clima tropical.

Neste trabalho, verificou-se que os cultivares apresentaram comportamentos diferentes para concentrações de N e acúmulos do nutriente nas massas das matérias secas dos colmos, folhas e panículas, em função da estratégia e modo de aplicação de nitrogênio.

CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram maiores valores de N na massa da matéria seca total do sorgo sacarino quando da utilização da estratégia E4, ou seja, aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N no momento do plantio, 70 kg ha⁻¹ do nutriente em V4 – V5 e 30 kg ha⁻¹ dez dias após, sendo, esta aplicação, feita a lanço (Figura 15).

CVW 80147 obteve os maiores resultados com a estratégia E3, aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N no momento do plantio e 100 kg ha⁻¹ do nutriente em V4 – V5, aplicados no sulco de plantio e, CVW 82158, com a estratégia E1, com 120 kg ha⁻¹ aplicados no momento do plantio, de modo a lanço (Figura 15).

Khosla et al. (2000) relatam que a aplicação de todo o nitrogênio em cobertura, em estágio de oito folhas totalmente abertas, beneficiam o desenvolvimento do sorgo, fato este, não conclusivo por este trabalho.

Donald e Hamblim (1976) ressaltam que tanto a deficiência como o excesso de N podem afetar a partição de assimilados entre os órgãos vegetativos e reprodutivos das plantas, daí a importância da condução de trabalhos neste sentido, a fim de se determinar cultivares e manejo nutricional adequado para a cultura do sorgo sacarino.

5.3. Altura, diâmetro e número de nós

Para a variável altura das plantas de sorgo sacarino, observou-se que, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, houve diferenças significativas entre os cultivares e doses de nitrogênio e que, a interação dos fatores, foi significativa (Tabela 8).

Avaliando o diâmetro dos colmos das plantas em Orindiúva, verificou-se que foram encontradas diferenças significativas entre os cultivares estudados e entre as doses aplicadas de N. Em Uchoa, no entanto, apenas os cultivares de sorgo apresentaram diferenças significativas. Não houve interação dos fatores nos dois experimentos (Tabela 8).

Para o número de nós, os valores encontrados foram significativamente diferentes entre os cultivares plantados de sorgo, porém, as doses de nitrogênio, não afetaram significativamente esta variável, nos dois experimentos avaliados (Tabela 8).

Fazendo o desdobramento da análise de variância, verificou-se no experimento de Orindiúva, que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82158 tiveram suas alturas aumentadas até as doses de 87,5 e 78,0 kg de N ha⁻¹ respectivamente e os cultivares CVW 80147 e CVW 82028 sofreram redução em função das doses aplicadas do nutriente (Figura 16).

Em Uchoa, as alturas foram diminuídas significativamente nos cultivares CVW 80147 e CVW 82158 e não houve variações em CVSW 80007 e CVW 82028, quando da aplicação de nitrogênio (Figura 16).

Tabela 8: Altura, diâmetro e número de nós do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio.

Causa de Variação	Orindiúva			Uchoa		
	Altura	Diâmetro	Nº nós	Altura	Diâmetro	Nº nós
	m	mm		m	mm	
Cultivar						
CVSW 80007	2,95 c	20,31 c	12,13 c	3,14 c	20,14 b	11,67 c
CVW 80147	3,00 c	22,21 a	12,87 b	3,23 b	21,93 a	12,53 b
CVW 82158	3,15 b	22,39 a	13,47 b	3,37 a	21,21 a	13,07 b
CVW 82028	3,36 a	21,17 b	15,87 a	3,36 a	20,04 b	14,87 a
Teste F	107,88**	21,93**	90,87**	61,27**	21,11**	80,71**
Dose						
kg ha ⁻¹						
0	3,14 a	20,76 c	13,25 a	3,31 a	20,73 a	13,25 a
40	3,18 a	20,93 bc	13,83 a	3,26 ab	20,57 a	13,17 a
80	3,22 a	22,07 a	13,50 a	3,24 b	20,80 a	12,83 a
120	3,03 b	22,11 a	13,58 a	3,32 a	21,10 a	12,92 a
160	3,00 b	21,72 ab	13,75 a	3,24 b	20,95 a	13,00 a
Teste F	22,23**	7,58**	1,45 ^{NS}	6,14**	0,90 ^{NS}	1,06 ^{NS}
Teste F (Interação)						
Cult. X Dose	6,73**	4,17**	1,76 ^{NS}	5,00**	5,26**	0,24 ^{NS}
C.V.	2,21	3,72	4,84	1,68	3,66	4,47

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, ^{NS} não significativo.
letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

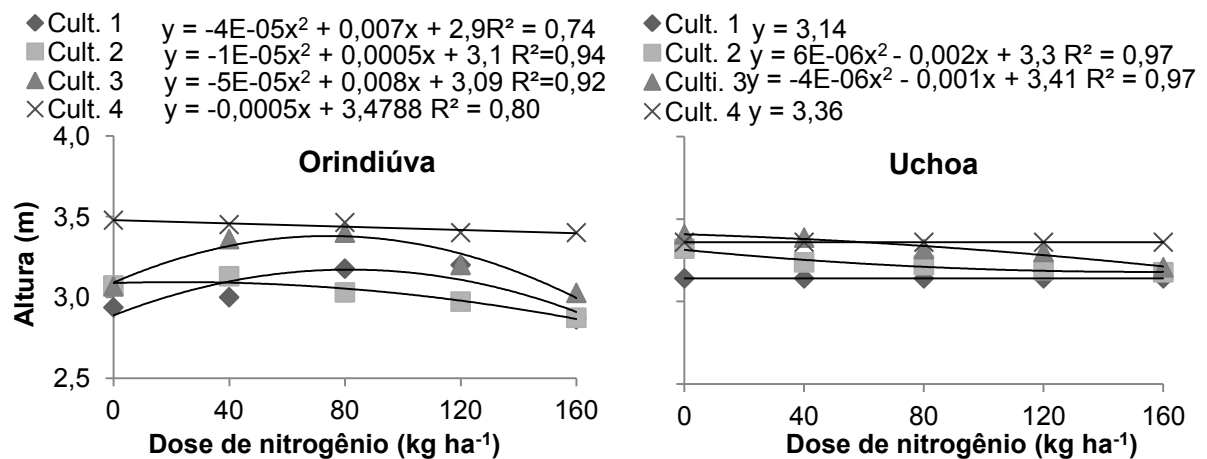


Figura 16: Altura do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Desdobrando a análise de variância do experimento de Orindiúva, para a variável diâmetro de colmos, verificou-se que a adubação nitrogenada, promovida pelos tratamentos, influenciou positivamente nos valores de todos os cultivares (Figura 17).

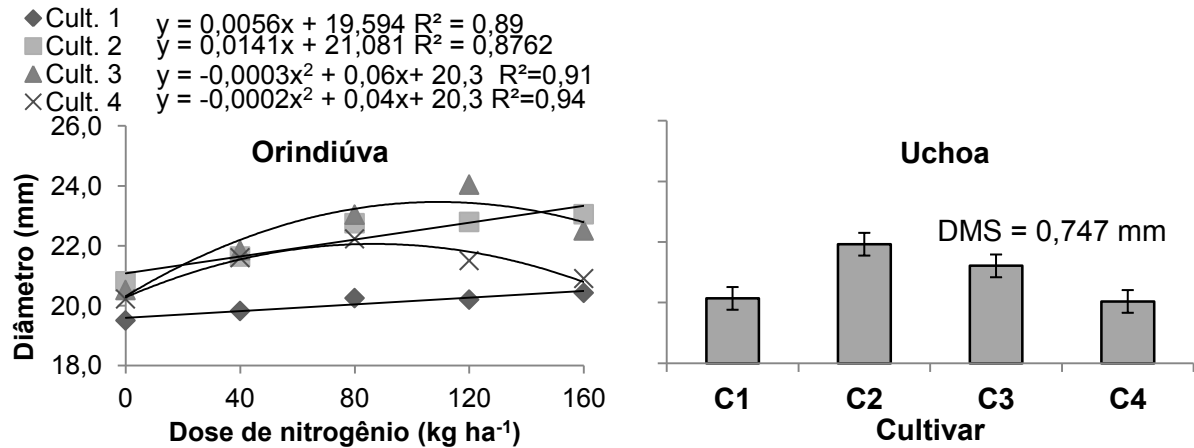


Figura 17: Diâmetro dos colmo do sorgo sacarino em Orindiúva, em função de cultivares e doses de nitrogênio e diâmetros dos cultivares do experimento de Uchoa. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

No experimento de Uchoa, entretanto, não foram observadas diferenças significativas para diâmetro de colmos, resultantes da adubação, ficando, os cultivares CVW 80147 e CVW 82158, com valores superiores aos cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 (Figura 17).

Observou-se, nos dois experimentos, que a adubação nitrogenada não alterou o número de nós do sorgo sacarino e o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais (Figura 18).

Padronizando a adubação nitrogenada em 120 kg ha⁻¹ de N, verificou-se que, para altura de plantas, houve diferenças significativas entre os cultivares, estratégias e testemunhas, porém não foram constatadas diferenças para modos de aplicação do nutriente e nem foi observada interação dos fatores (Tabela 9).

Os diâmetros de colmos sofreram alterações significativas em função do cultivar plantado e da estratégia de adubação adotada. O modo de aplicação de nitrogênio, assim como as testemunhas, não imprimiram diferenças significativas

nesta variável. Observou-se também que não houve interação significativa dos fatores (Tabela 9).

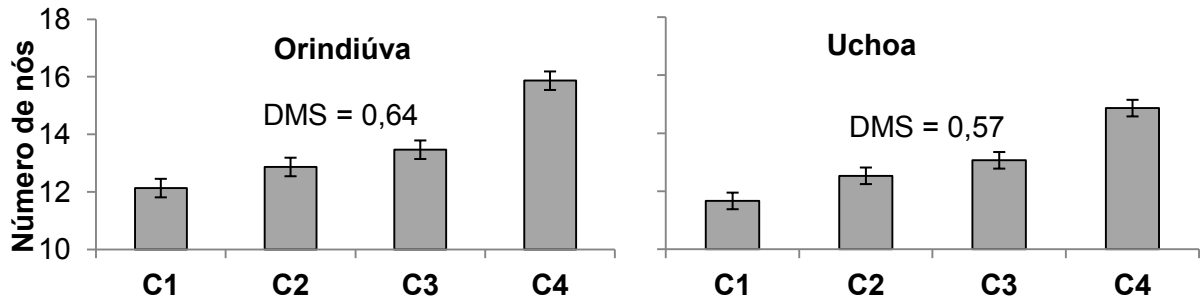


Figura 18: Número de nós dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 de sorgo sacarino

As testemunhas e cultivares com adubação apresentaram diferenças significativas no número de nós do sorgo sacarino, porém, as estratégias e modos de aplicação de N, tiveram valores semelhantes para esta variável. Verificou-se que não houve interação dos fatores (Tabela 9).

Observou-se nos três experimentos, que o cultivar CVW 82028, com adubação nitrogenada, obteve valores significativamente maiores para altura de plantas e número de nós, porém, para a variável diâmetro de colmos, este cultivar não teve o mesmo desempenho (Tabelas 8 e 9).

Verificou-se também que todos os cultivares de sorgo sacarino sofreram alterações significativas nos valores de altura de plantas e diâmetro de colmos em Orindiúva e altura de plantas dos cultivares CVW 80147 e CVW 82158 em Uchoa (Figuras 16 e 17).

Sumatri e Lestari (1997), avaliando doses de N (60, 90 e 120 kg ha⁻¹) e P (0, 50, 100 e 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅), observaram que os tratamentos não influenciaram o número de nós, altura e diâmetro dos colmos de sorgo, ao contrário de El-Hoda et al. (1999), que verificaram que a aplicação de doses de nitrogênio em sorgo sacarino resultou em aumentos da altura, diâmetro, rendimento de colmos e da demanda de água e redução do número de dias para florescimento.

Tabela 9: Altura, diâmetro e número de nós do sorgo sacarino, em função de cultivares e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.

Causa de Variação	Experimento 3		
	Altura	Diâmetro	Nº nós
	m	mm	
Cultivar			
CVSW 80007	3,16 c	20,26 b	11,25 c
CVW 80147	3,23 b	20,92 ab	12,38 b
CVW 82158	3,30 a	21,60 a	12,63 b
CVW 82028	3,30 a	20,47 b	14,71 a
Teste F	17,97**	5,57**	151,65**
Estratégia			
E1	3,26 a	21,35 a	12,75 a
E2	3,25 ab	20,37 b	12,63 a
E3	3,20 b	20,83 ab	12,79 a
E4	3,27 a	20,71 ab	12,79 a
Teste F	4,07**	2,59*	0,45 ^{NS}
Modo			
M1	3,25 a	21,05 a	12,75 a
M2	3,24 a	20,58 a	12,73 a
Teste F	0,96 ^{NS}	3,58 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Interações			
Cult. X Estrat.	1,48 ^{NS}	1,77 ^{NS}	0,71 ^{NS}
Cult. X Modo	1,73 ^{NS}	2,08 ^{NS}	0,62 ^{NS}
Estrat. X Modo	1,41 ^{NS}	0,93 ^{NS}	0,12 ^{NS}
Cult. X Estr. x Modo	1,05 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,16 ^{NS}
Testemunha			
T1	3,27 ab	20,00 a	11,33 c
T2	3,20 b	21,17 a	13,00 b
T3	3,43 a	21,23 a	13,00 b
T4	3,32 ab	21,87 a	14,67 a
Teste F	4,76**	1,19 ^{NS}	16,88**
Interação			
Test. x Fatorial	6,04*	0,45 ^{NS}	2,20 ^{NS}
C.V.	2,41	5,93	4,49

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, ^{NS} não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

O espaçamento e população de plantas deste trabalho foram mantidos uniformes para todas as parcelas dos experimentos, a fim de se estudar os reais efeitos do nitrogênio na cultura do sorgo sacarino, pois esperava-se encontrar diferenças significativas na produtividade de colmos e etanol e que, tais ocorrências pudessem ser justificadas pelas diferenças de resultados encontrados na altura e

diâmetro das plantas e número de nós, conforme trabalhos de Monroe et al. (1984), Wanjari et al. (1996), Kagne et al. (2008) e Broadhead e Freeman (1980).

Worley et al. (1991) verificaram, em dois anos de avaliação, que quando o espaçamento entre plantas aumentou, ou seja, reduziu a população, a produtividade decresceu 4,5% para cada cm de perda, concomitantemente ao aumento de diâmetro de 2,6% no primeiro ano e, decresceu 4,75% na produtividade para cada cm de perda, com aumento de 2,2% no diâmetro dos colmos no segundo ano, demonstrando que o sorgo sacarino não tem a capacidade de tirar vantagem de crescimento adicional, quando em baixa população, recomendando que o plantio seja efetuado sempre com muito critério.

As estratégias E1 e E4 demonstraram valores significativamente maiores que E3 e similar a E2 para altura das plantas. Para diâmetro dos caules do sorgo sacarino, a estratégia E1 se destacou de E2, porém apresentou valores semelhantes a E3 e E4 (Tabela 9). Estes valores não conclusivos discordam dos resultados de Almodares e Mostafafi (2005), que relatam que a aplicação de N no estágio de 3 a 5 folhas aumentou a altura e diâmetro das plantas de sorgo.

Os resultados apontados na Tabela 9, apontam que as estratégias e modos de aplicação do nutriente, não contribuem para o aumento do número de nós do sorgo sacarino, concordando com Hugar (2010), que afirma que a adubação com NPK não influencia no número de internódios e de folhas.

O ciclo da cultura também pode interferir no número de internódios do sorgo, uma vez que, a indução floral é baseada na transformação dos meristemas vegetativos em reprodutivos (primórdio floral), podendo determinar a altura final, número de nós e, conseqüentemente, o rendimento final da cultura (RODRIGUES et al., 2001).

Valores observados de altura, diâmetro e número de nós, obtidos nos três experimentos com sorgo sacarino, foram superiores aos encontrados por Freita et al. (2012).

5.4. Massa da matéria verde, da matéria seca e produtividade de colmos

Observou-se, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, que as variáveis massa da matéria verde, massa da matéria seca e produtividade de colmos sofreram variações significativas, em função dos cultivares de sorgo sacarino plantados e das doses de nitrogênio aplicadas para condução dos experimentos. Verificou-se também interações significativas entre os fatores (Tabela 10).

Tabela 10: Massas das matérias verde e seca e produtividade do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N

Causa de Variação	Orindiúva			Uchoa		
	Massa MV	Massa MS	P. colmos	Massa MV	Massa MS	Prod. colmos
	.....t ha ⁻¹					
Cultivar						
CVSW 80007	53,43 c	23,51 c	42,04 d	64,62 c	28,26 d	47,64 c
CVW 80147	60,69 b	26,71 b	43,89 c	69,34 b	31,45 c	44,44 d
CVW 82158	68,64 a	30,20 a	51,61 b	81,23 a	37,63 a	54,45 a
CVW 82028	68,91 a	30,25 a	53,97 a	69,24 b	33,10 b	49,35 b
Teste F	659,40**	773,85**	1756,36**	354,39**	3960,27**	4922**
Dose						
kg ha ⁻¹						
0	52,28 d	23,02 d	40,24 c	63,49 d	28,97 e	43,54 d
40	61,94 c	27,30 c	48,29 b	66,70 c	30,78 d	46,45 c
80	66,52 b	29,24 b	50,79 a	72,29 b	33,24 c	49,39 b
120	68,14 a	29,85 a	51,42 a	76,27 a	34,83 b	52,67 a
160	65,72 b	28,92 b	48,64 b	76,79 a	35,24 a	52,81 a
Teste F	392,10**	451,60**	835,84**	193,66**	1500,36**	3628,98**
Teste F (Interação)						
Cultivar x Dose	57,20**	66,77**	137,01**	21,05**	156,60**	426,99**
C.V.	1,77	1,63	1,12	2,05	0,74	0,47

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Fazendo o desdobramento da análise de variância, observou-se em Orindiúva, que o cultivar CVW 82028 se sobressaiu, produzindo 78,4 e 34,3 t ha⁻¹ de massas de matéria verde e matéria seca respectivamente, quando da aplicação de 102 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 19).

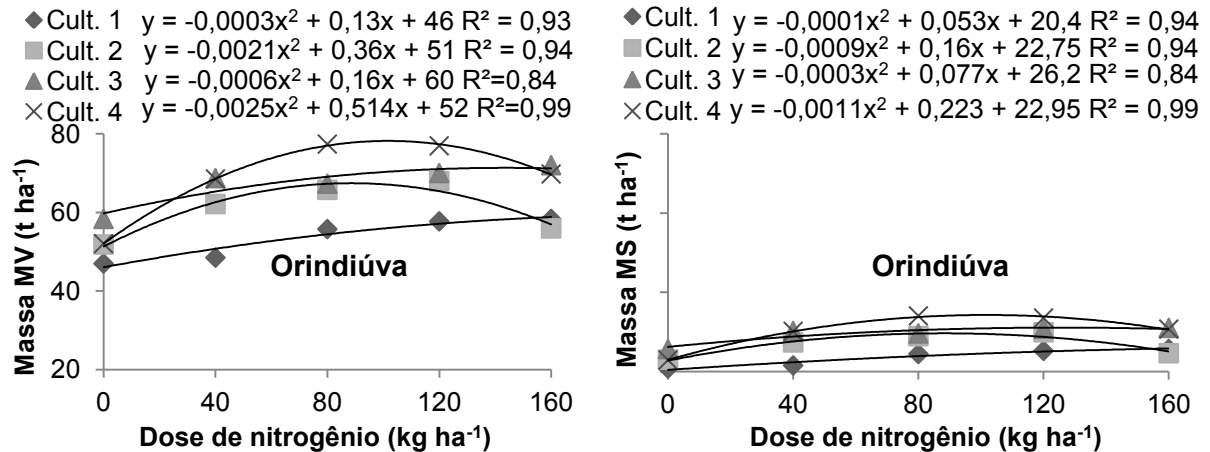


Figura 19: Massas da matéria verde e da matéria seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Observou-se também que a massa da matéria seca total do experimento de Orindiúva relacionou-se significativamente com a altura das plantas ($y = -9,14 + 11,502x$ $R^2 = 0,584^{**}$), com o número de nós ($y = 6,153 + 1,57x$ $R = 0,587^{**}$) e com o diâmetro dos caules ($y = -19,358 + 2,18x$ $R^2 = 0,686^{**}$), tornando, o estudo destes elementos, indispensável para o aumento da produtividade do sorgo sacarino.

Da mesma forma, fazendo o desdobramento estatístico do experimento de Uchoa, verificou-se que o cultivar CVW 82158 produziu 87,3 e 40,8 t ha⁻¹ de massas de matérias verde e seca respectivamente, com a aplicação de 96,5 kg de N ha⁻¹ (Figura 20).

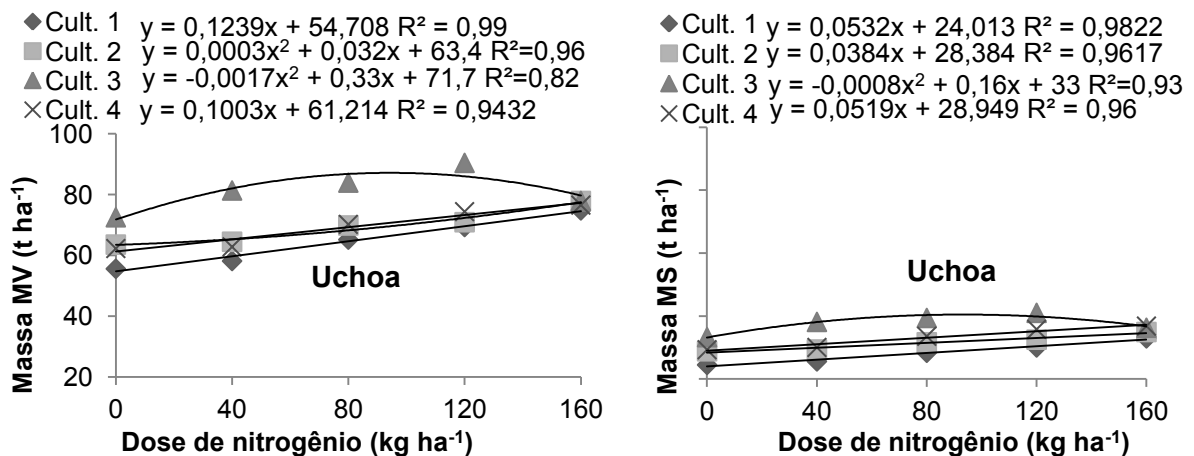


Figura 20: Massas da matéria verde e da matéria seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Verificou-se também, neste experimento, que a massa da matéria seca relacionou-se significativamente somente com a altura das plantas ($y = -24,417 + 17,493x$ $R^2 = 0,483^*$).

Observou-se nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, que todos os cultivares apresentaram diferenças significativas para produtividade de colmos, em função dos cultivares testados, assim como, das doses aplicadas de nitrogênio. Houve interação dos fatores (Tabela 10).

Fazendo o desdobramento das análises de variância, verificou-se ainda que, no experimento de Orindiúva, o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais, com rendimento máximo esperado de 61 t ha^{-1} de colmos, com a aplicação de 96 kg ha^{-1} de nitrogênio e, em Uchoa, o cultivar CVW 82158 se destacou dos outros, com produtividade esperada, em torno de, 58 t ha^{-1} de colmos, aplicando-se 92 kg ha^{-1} de N (Figura 21).

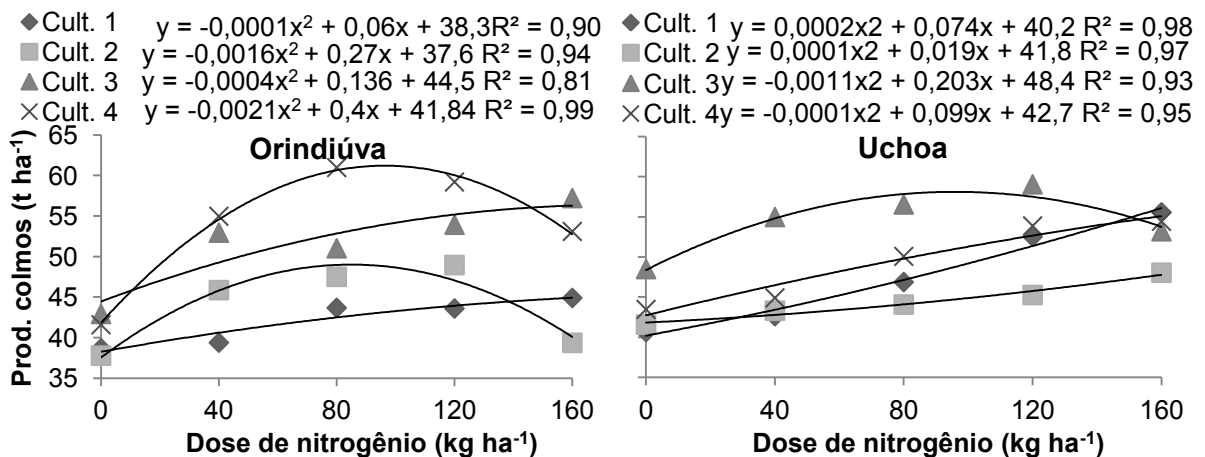


Figura 21: Produtividade de colmos do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

No **Experimento 3** verificou-se que para as variáveis massa da matéria verde total, massa da matéria seca total e produtividade, apenas o fator modos de aplicação de nitrogênio não apresentou diferenças significativas nos resultados de massas de matéria verde e matéria seca. Houve interação dos fatores (Tabela 11).

Verificou-se que, para massas de matérias verde e seca, os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram resultados superiores empregando-se o maior

parcelamento de N, para o cultivar CVW 80147, a estratégia E3 e, para o cultivar CVW 82158, não houve diferença significativa nos resultados, em função das estratégias empregadas. Observou-se ainda que as testemunhas dos cultivares CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 se destacaram do cultivar CVSW 80007, com resultados semelhantes entre si (Figura 22).

Tabela 11: Massas das matérias verde e seca e produtividade de colmos do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de N

Causa de Variação	Massa MV	Massa MS	Prod. colmos
%		
Cultivar			
CVSW 80007	71,37 c	31,39 c	56,28 d
CVW 80147	81,02 a	36,74 b	57,90 c
CVW 82158	81,81 a	38,09 a	61,02 a
CVW 82028	78,95 b	37,79 a	60,07 b
Teste F	97,51**	237,95**	80,62**
Estratégia			
E1	76,51 b	35,20 c	58,02 bc
E2	77,78 b	35,82 bc	57,85 c
E3	80,67 a	36,99 a	60,52 a
E4	78,19 b	36,00 b	58,89 b
Teste F	13,02**	13,37**	26,38**
Modo			
M1	78,20 a	36,00 a	58,42 b
M2	78,38 a	36,01 a	59,21 a
Teste F	0,13^{NS}	0,01^{NS}	11,16**
Interações			
Cult. X Estrat.	45,53**	56,10**	72,10**
Cult. X Modo	28,10**	33,21**	31,05**
Estrat. X Modo	5,83**	7,12**	17,10**
Cult. X Estr. x Modo	11,44**	12,90**	39,27**
Testemunha			
T1	60,97 b	26,83 c	48,03 b
T2	69,20 a	31,37 b	49,03 b
T3	72,43 a	33,73 a	53,13 a
T4	70,73 a	33,82 a	52,83 a
Teste F	13,86**	225,30**	13,49**
Interação			
Test. x Fatorial	189,14**	32,59**	488,40**
C.V.	3,06	2,8	2,01

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

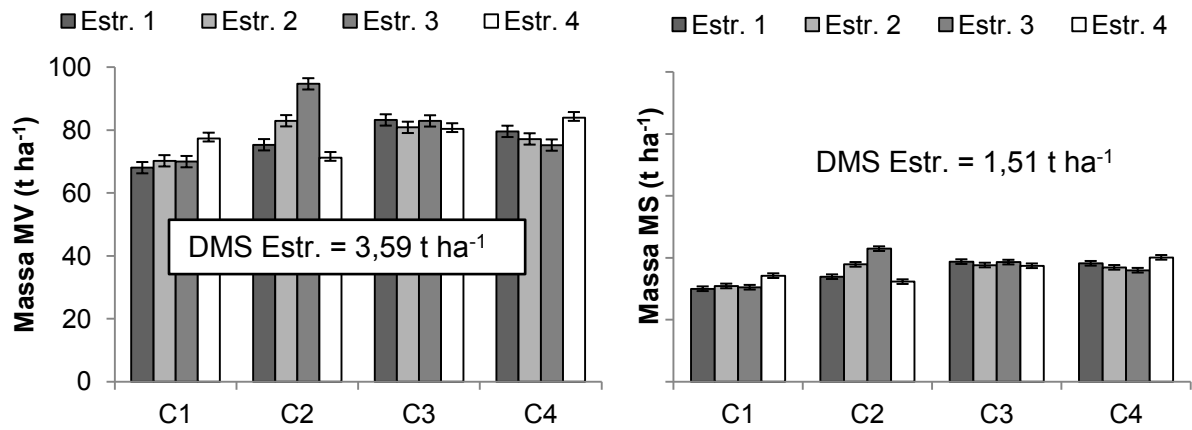


Figura 22: Massas da matéria verde e seca do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias de aplicação de N. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028.

Observou-se ainda que, para produtividade de colmos, os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 obtiveram maiores valores com o emprego da estratégia E4, com o maior parcelamento da dose de N. O cultivar CVW 80147 teve o maior resultado com a estratégia E3 e, o cultivar CVW 82158, teve com as estratégias E1 e E3, os maiores resultados nesta variável (Figura 23).

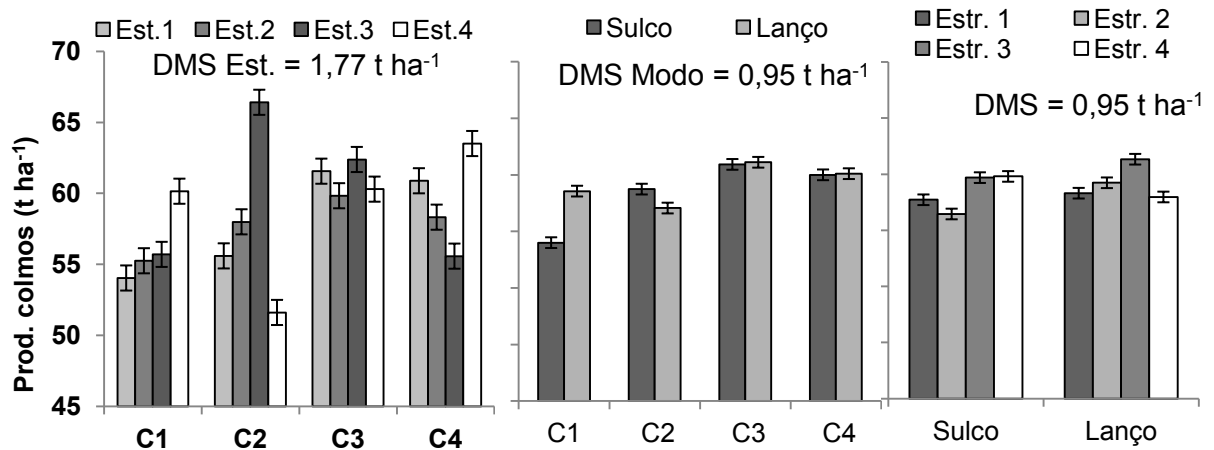


Figura 23: Toneladas de colmos por hectare de sorgo sacarino, em função de cultivares, estratégias e modos de aplicação de N e suas interações. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Os resultados da aplicação de N a lanço foi significativamente superior para o cultivar CVSW 80007, a aplicação no sulco proporcionou resultados maiores para o

cultivar CVW 80147 e, para os cultivares CVW 82158 e CVW 82028, não houve diferença significativa nos resultados com a aplicação no sulco ou a lanço.

Para aplicação no sulco de plantio, as melhores estratégias adotadas foram as E3 e E4, ou seja, com parcelamento, enquanto que, para aplicação a lanço, a estratégia E3 proporcionou os maiores valores de produtividade de colmos (Figura 23). O sorgo sacarino é uma cultura de multiuso, com utilização na alimentação humana (ANGLANI, 1998), fabricação de ração animal (JAFARINA et al., 2005), produção de forragem sob as formas de forragem verde, feno e silagem (ALMODARES et al., 1994b, 1999; AZARFA et al., 1998; MURRAY et al., 2008ab) e uma excelente alternativa para produção de etanol (REDDY et al., 2005; JACQUES et al., 1999), com grande rendimento de biomassa (SAHED et al., 1997), brix e baixa exigência de água, além de se apresentar como cultura de ciclo curto (MARCHEZAN e SILVA, 1984; REDDY et al., 2005; OLIVIERA, 1986), portanto, o conhecimento sobre produção de biomassa, massa da matéria seca e rendimento de colmos, é de fundamental importância no desenvolvimento e melhoramento de cultivares, assim como, técnicas de manejo que aumentem os resultados da cultura.

Com o estudo das doses de nitrogênio nestes genótipos de sorgo sacarino, foi possível constatar que, em Orindiúva, o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais, nas variáveis massas das matérias verde e seca e produtividade de colmos (Figuras 19 e 21), enquanto que, em Uchoa, CVW 82158 obteve os melhores resultados nas três variáveis (Figura 20 e 21).

Resultados semelhantes, para massas de matérias verde e seca, foram observados por Wanjari et al. (1996), Kagne et al. (2008), Hua et al. (2010), Sinare et al. (2005), Almodares et al. (2006), porém, discordantes de Rodrigues Filho et al. (2006) e Oliveira et al. (2005), que não constataram alterações nos valores de massa da matéria seca do sorgo forrageiro quando da aplicação de doses de nitrogênio.

Observou-se que a massa da matéria seca total, matéria verde total e produtividade de colmos se relacionaram com o N acumulado nos colmos do sorgo, nos **Experimentos 1 e 2** (Tabela 12), podendo-se inferir que a aplicação de nitrogênio tenha promovido o aumento da quantidade acumulada do nutriente no colmo (Figura 5), incrementando os valores destas variáveis.

Tabela 12: Equações de regressão de massas de matérias seca e verde e produtividade de colmos de sorgo sacarino, em função do N acumulado no colmo

Variável	N acumulado na MS do colmo
Orindiúva	
Massa matéria seca	$y = 17,975 + 0,122x \quad R^2 = 0,831^{**}$
Massa matéria verde	$y = 38,377 + 0,313x \quad R^2 = 0,872^{**}$
Prod. colmos	$y = 33,765 + 0,172x \quad R^2 = 0,679^*$
Uchoa	
Massa matéria seca	$y = 13,548 + 0,153x \quad R^2 = 0,839^{**}$
Massa matéria verde	$y = 34,453 + 0,294x \quad R^2 = 0,816^{**}$
Prod. colmos	$y = 24,25 + 0,198x \quad R^2 = 0,857^{**}$

* significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1 % de probabilidade.

Segundo Johnston (2000), Leible e Kahnt (1991), Almodares et al. (2006), Almodares e Mostafafi (2005), Ferraris e Stewart (1979), Jackson e Arthur (1980), Hong et al. (1992), Blasko et al. (2009), Ping et al. (2007), Ponnuswamy e Santh (2009), Kumar et al. (2008), Sudharsan et al. (2008), Sinare et al. (2005), Turgut et al. (2005), Montemurro et al. (2002), Sumantri e Lestari (1997), Teli et al. (1998), a aplicação nitrogenada aumenta a produção de colmos do sorgo sacarino.

Nos experimentos com os cultivares de sorgo sacarino e doses de nitrogênio, verificou-se variações nos resultados absolutos de massa da matéria verde total (53,43 a 81,23 t ha⁻¹) (Tabela 10), tendo como produtividade máxima esperada, 78,4 t ha⁻¹ para o experimento de Orindiúva, com a aplicação da dose de 102 kg ha⁻¹ de N, com destaque para o cultivar CVW 82028 e, 87,3 t ha⁻¹ para o experimento de Uchoa, com dose de 96 kg ha⁻¹ de N, destacando-se o cultivar CVW 82158.

Alexopoulou e Chatziathanassiou (1999) e Woods (2000) encontraram produtividade de matéria verde total do sorgo sacarino variando entre 80 e 110 t ha⁻¹, enquanto que, Maccollum et al. (2001) colheram 80 t ha⁻¹, com 65% de umidade, Sahed et al. (1997) encontraram 31,62 t ha⁻¹, sem aplicação de N e 32,87 t ha⁻¹, quando da aplicação de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio e Hua et al. (2010) verificaram que a aplicação nitrogenada aumentou o rendimento de matéria verde, chegando a 58,28 t ha⁻¹.

As produtividades de massa de matéria verde encontradas nos experimentos de Orindiúva e Uchoa foram superiores aos resultados de Sahed et al. (1997) e Hua et al. (2010) e próximas aos de Woods (2000) e Maccollum et al. (2001).

Os valores absolutos de massa de matéria seca total encontradas nos cultivares de sorgo sacarino, em função das doses de N ficaram entre 23,02 e 37,63 t ha⁻¹ (Tabela 10), com ponto de máxima produtividade esperada em 34,3 t ha⁻¹, no cultivar CVW 82028, do experimento de Orindiúva e, 40,8 t ha⁻¹, para CVW 82158, no experimento de Uchoa.

Alexopoulou e Chatziathanassiou (1999) verificaram que a produção de matéria seca total do sorgo sacarino variou de 20 a 35 t ha⁻¹. Hallan et al. (2001) encontrou 35 t ha⁻¹, Putnam et al. (1991) verificaram 24 e 16,3 t ha⁻¹ em dois anos consecutivos de plantio, Sowinski e Liska-Podkowa (2008) produziram 15,7 t ha⁻¹ quando da aplicação nitrogenada e Sahed et al. (1997) verificaram produtividade de 13,82 t ha⁻¹ com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N.

Nemeth e Izsaki (2007) observaram que a aplicação de nitrogênio atingiu o máximo de produtividade de matéria seca, no sorgo sacarino, aos 80 kg ha⁻¹, Sinare et al. (2005) verificaram que a aplicação de 120:60:60 kg NPK ha⁻¹ proporcionou maior altura de planta (301,8 cm) e maior massa de matéria seca acumulada (204,94 g planta⁻¹), Hugar (2010) verificou maior produtividade de colmos (45,36 t ha⁻¹) e massa da matéria seca total (485,3 g planta⁻¹) e Rodrigues Filho et al. (2006) e Oliveira et al. (2005) não constataram alterações nos valores de massa da matéria seca do sorgo forrageiro quando da aplicação de doses de nitrogênio.

Com os resultados de massa da matéria seca total, apresentados neste trabalho, é possível afirmar que são superiores aos encontrados na literatura e demonstram que o sorgo sacarino pode se tornar uma opção na nutrição animal, devido ao bom desempenho destes materiais no campo quanto à produtividade de biomassa e, também, para produção de biocombustíveis, fazendo um complemento à atual biomatriz brasileira, a cana-de-açúcar.

É possível que a importância do nitrogênio esteja ligada à constituição das proteínas e ácidos nucléicos, participando direta ou indiretamente dos diversos processos bioquímicos e enzimáticos da planta, além da composição química da clorofila (MALAVOLTA et al., 1997; CARNAÚBA, 1990) e, sua presença, pode

propiciar aumento da atividade metabólica da planta e, conseqüentemente, da produtividade, pois, segundo Galani et al. (1991) e Leible e Kahnt (1991), a aplicação nitrogenada aumenta o teor de sacarose, percentual de proteína e taxa de crescimento do sorgo sacarino.

Da mesma forma, os valores absolutos de produtividade de colmos encontrados nos cultivares de sorgo sacarino, em função das doses de N ficaram entre 42,04 e 54,45 t ha⁻¹ (Tabela 10), com ponto de máxima produtividade esperada em 61 t ha⁻¹ e aplicação de 96 kg ha⁻¹ de N, no cultivar CVW 82028, em Orindiúva e, 58 t ha⁻¹ e aplicação de 92 kg ha⁻¹ de N, no CVW 82158, em Uchoa.

Vários autores, como Leible e Kahnt (1991), Sinare et al. (2005), Hugar (2010), Almodares e Mostafafi (2005), Ferraris e Stewart (1979), Ping et al. (2007), e Jackson e Arthur (1980), Hong et al. (1992), Blasko et al. (2009), Kumar et al. (2008), Ponnuswamy e Santhi (2009) e Sudharsan et al (2008), têm encontrado resultados positivos em produtividade de colmos de sorgo sacarino quando da aplicação de nitrogênio.

É possível, portanto, que, por meio dos resultados deste trabalho, possa-se concluir que a adubação nitrogenada tenha contribuído para o aumento do nitrogênio acumulado nos colmos do sorgo (Figura 5) e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade de colmos (Tabela 12).

O estudo das estratégias e modos de aplicação de nitrogênio em sorgo sacarino, visando o aumento da produtividade da cultura, tem despertado interesse de pesquisadores de todo o mundo e, estes trabalhos, têm revelado resultados distintos, fazendo-se com que haja necessidade de mais pesquisa dentro do assunto nutrição da cultura.

Eghbal (1993), trabalhando com doses e formas de aplicação de N (0, 30, 30+30, 45+45 kg/ha) em dois locais na Alemanha, verificou que os melhores rendimentos de biomassa ocorreram no local de maior acúmulo térmico.

El-Lattief (2011), estudando os efeitos na produtividade e qualidade tecnológica do sorgo sacarino quando da aplicação de sulfato de amônio, nitrato de amônio e ureia, em três estratégias distintas de aplicação, nos cultivares Tracy e Honey, concluiu que o parcelamento em três vezes do nitrato de amônio no cultivar Honey foi o melhor tratamento, concordando com Sharief et al. (2004), que também

verificaram os melhores resultados com o parcelamento da aplicação de nitrato de amônio, em três vezes com doses iguais na beterraba sacarina.

A aplicação de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em duas vezes, metade no plantio e metade cinco semanas após o plantio, apresentaram resultados significativos de produtividade em sorgo (TRIPATHI e BHAN, 1995), porém Khosla et al. (2000) destacam que a aplicação de todo o nitrogênio em cobertura, em estágio de oito folhas totalmente abertas, beneficiam o desenvolvimento do sorgo e Almodares et al. (1996) não verificaram aumento de produtividade com a aplicação de 100, 200 e 300 kg ha^{-1} de ureia em diferentes estádios de crescimento.

Balole (2001) constatou que a aplicação nitrogenada aumentou o rendimento do sorgo sacarino, mas a época de aplicação em nada afetou, enquanto SINARE et al. (2006), estudando o parcelamento de nitrogênio na cultura, verificaram que a aplicação de 30% no plantio, 35% com 25 dias e 35% com 50 dias, tiveram resultados maiores para produtividade de colmos.

Kravtsov (2004) observou que a aplicação parcelada de nitrogênio, seja com 60 kg ha^{-1} no plantio e 20 kg ha^{-1} com 25 dias ou 60 kg ha^{-1} no plantio e 40 kg ha^{-1} com 25 dias, tiveram respostas superiores aos tratamentos com aplicação integral no plantio.

Este trabalho mostrou que, para massa de matéria verde e matéria seca total, houve interação significativa entre cultivares e estratégia de aplicação nitrogenada (Tabela 11).

Verificou-se que, nas duas variáveis, os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram melhor resposta quando do maior parcelamento de nitrogênio, com a aplicação de 20 kg ha^{-1} , do nutriente, no momento do plantio, 70 kg ha^{-1} , no estágio V4 – V5 e, 20 kg ha^{-1} , 10 dias após (Figura 22).

O cultivar CVW 80147 obteve resultados significativamente maiores para massas das matérias verde e seca com a aplicação de 20 kg ha^{-1} no momento do plantio do sorgo e 100 kg ha^{-1} no estágio V4 – V5 e, CVW 82158, apresentou resultados semelhantes, indiferentemente as estratégias de adubação adotadas (Figura 22).

Observou-se também que não houve diferenças significativas, nos resultados destas variáveis, em função dos modos de aplicação de nitrogênio no sorgo sacarino, ou seja, aplicação no sulco de plantio ou a lanço (Tabela 11).

Para produtividade de colmos, assim como para massa da matéria verde total e seca total, verificou-se que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram melhor resposta quando do maior parcelamento de nitrogênio e CVW 80147, com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ no momento do plantio do sorgo e 100 kg ha⁻¹ no estágio V4 – V5, no entanto, o cultivar CVW 82158, obteve resultados superiores, porém semelhantes entre si, quando da utilização das estratégias E1 e E3, onde, E1 é definida como a aplicação de todo nitrogênio (120 Kg ha⁻¹) no momento de plantio e, E3, com aplicação de 20 kg ha⁻¹ no momento do plantio do sorgo e 100 kg ha⁻¹ no estágio V4 – V5 (Figuras 22 e 23).

Ainda para produtividade de colmos, quando do plantio do cultivar CVSW 80007, a aplicação do nitrogênio a lanço promoveu maiores valores para esta variável, para CVW 80147, a aplicação no sulco de plantio foi melhor e para CVW 82158 e CVW 82028 e o modo de aplicação do nutriente não interferiu nos resultados (Figura 23).

Os resultados encontrados neste estudo demonstram a interação dos cultivares com as diversas formas de manejo da fertilização nitrogenada no sorgo sacarino, concluindo que, estas podem contribuir no aumento das produtividades, por meio do melhoramento de cultivares mais adaptados e produtivos e pela utilização de um melhor manejo nutricional da cultura.

5.5. Qualidade tecnológica e rendimento de etanol

Para todas as variáveis analisadas, que medem a qualidade tecnológica do sorgo sacarino, como POL do caldo, fibra, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol, observou-se no **Experimentos 1**, que os cultivares de sorgo apresentaram resultados significativamente diferentes, que as doses de nitrogênio proporcionaram resultados diferentes para POL do caldo, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol. Verificou-se também que houve interação significativa entre cultivar e doses de N para POL do caldo, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol (Tabela 13).

Tabela 13: POL do caldo, fibra, pureza, ATR e rendimento de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio. Dados do experimento de Orindiúva

Causa de variação	POL caldo	Fibra	Brix	Pureza	ATR	Rendimento etanol
		.....% .....			kg t ⁻¹	l ha ⁻¹
Cultivar						
CVSW 80007	3,49 c	12,63 b	12,41 a	29,60 b	47,81 b	915,33 b
CVW 80147	4,08 b	12,13 c	12,33 a	30,95 b	49,12 b	913,80 b
CVW 82158	3,27 c	13,24 a	10,01 c	30,66 b	44,75 c	894,20 b
CVW 82028	4,68 a	13,36 a	11,59 b	39,43 a	55,34 a	1073,40 a
Teste F	30,57**	18,87**	28,66**	36,94**	2,71*	62,99**
Dose						
kg ha ⁻¹						
0	3,36 c	13,01 a	10,83 b	29,82 c	44,86 c	743,90 c
40	3,60 bc	12,93 a	11,33 ab	27,88 c	48,38 b	944,40 b
80	4,00 ab	12,58 a	11,39 ab	34,28 ab	52,75 a	1004,80 a
120	4,29 a	12,77 a	11,73 a	37,42 a	51,51 a	1022,25 a
160	4,16 a	12,91 a	12,11 a	33,92 b	48,77 b	1030,42 a
Teste F	9,10**	1,28 ^{NS}	4,88**	20,65**	1,85*	103,69**
Teste F (Interação)						
Cultivar x Dose	11,53**	0,87 ^{NS}	2,30*	15,65**	5,63*	8,25**
C.V.	11,48	3,98	6,52	8,88	14,51	4,29

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Do mesmo modo, no experimento de Uchoa, constatou-se que houve diferenças significativas nos resultados de POL do caldo, fibra, pureza, ATR e rendimento de etanol, em função dos cultivares utilizados, na POL do caldo, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol, em função das doses de nitrogênio empregadas e na POL do caldo, pureza, ATR e rendimento de etanol, em função da interação dos fatores (Tabela 14).

Em função da aplicação nitrogenada dos tratamentos, em Orindiúva, o estudo de regressão para POL do caldo demonstrou resposta linear crescente para o cultivar CVW 82028 e de segundo grau para o cultivar CVSW 80007. Para o cultivar CVW 80147 houve redução significativa da POL do caldo, enquanto que, para o cultivar CVW 82158, não foi verificada diferença significativa de seus valores (Figura 24).

Tabela 14: POL do caldo, fibra, pureza, ATR e rendimento de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio. Dados do experimento de Uchoa

Causa de variação	POL caldo	Fibra	Brix	Pureza	ATR	Rendimento etanol
	.....% .....				kg t ⁻¹	l ha ⁻¹
Cultivar						
CVSW 80007	2,34 c	11,79 bc	12,79 a	16,13 b	41,55 b	1081,33 b
CVW 80147	3,02 a	11,19 c	12,87 a	23,09 a	45,42 a	1036,20 c
CVW 82158	2,82 ab	12,67 a	12,69 a	22,70 a	46,20 a	1215,67 a
CVW 82028	2,60 b	12,35 ab	12,80 a	21,45 a	42,64 b	1115,47 b
Teste F	26,05**	13,86**	0,34 ^{NS}	49,61**	19,36**	44,97**
Dose						
kg ha ⁻¹						
0	2,05 c	11,57 a	12,48 b	15,94 b	38,62 b	993,33 c
40	2,75 b	12,29 a	13,00 ab	21,24 a	44,25 a	1068,42 b
80	3,02 a	11,77 a	12,52 b	22,75 a	46,50 a	1093,08 b
120	2,76 b	12,15 a	12,83 ab	21,67 a	44,51 a	1187,25 a
160	2,89 ab	12,21 a	13,10 a	22,62 a	45,90 a	1218,75 a
Teste F	38,71**	2,54 ^{NS}	3,87**	30,37**	30,91**	51,65**
Teste F (Interação)						
Cultivar x Dose	8,63**	0,46 ^{NS}	3,59**	15,87**	11,15**	11,99**
C.V.	8,24	5,66	3,84	8,49	4,44	3,96

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Em Uchoa, verificou-se aumentos da POL do caldo em todos os cultivares, em função das doses aplicadas de nitrogênio (Figura 24).

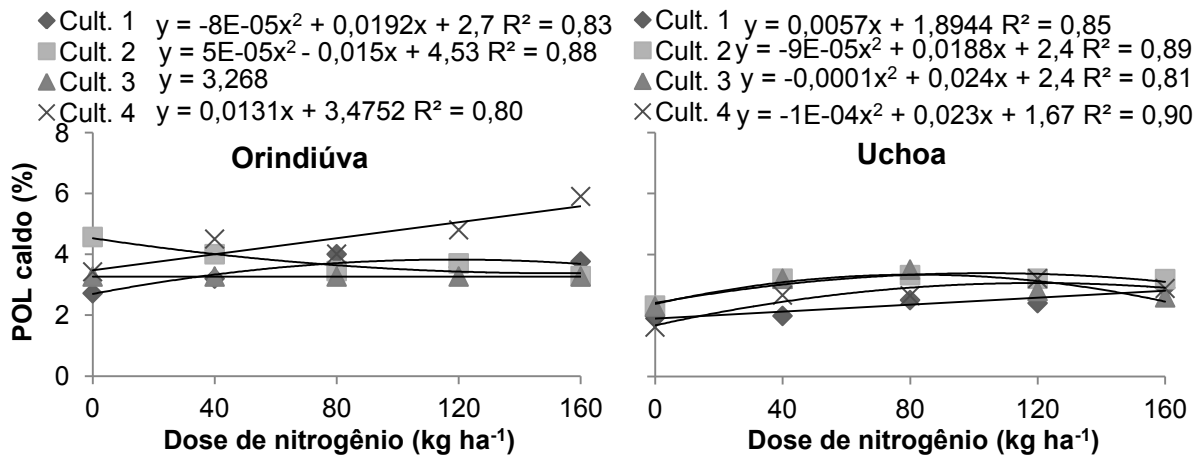


Figura 24: POL do caldo do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Os Experimentos 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes para percentual de fibras, onde ficou constatado maiores valores para os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 (Figura 25) e a não influência das doses de nitrogênio nesta variável (Tabelas 13 e 14).

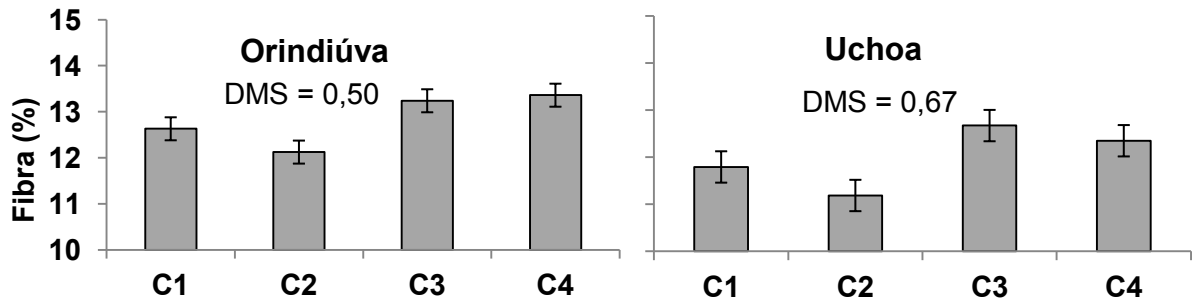


Figura 25: Teor de fibra de quatro cultivares de sorgo sacarino. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Observou-se no experimento de Orindiúva, que as doses de nitrogênio influenciaram os teores de brix dos cultivares CVSW 80007 e CVW 82028, ambos com tendência linear crescente. No experimento de Uchoa os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 aumentaram seus teor na variável, o CVW 82028 obedeceu um ajuste quadrático decrescente e, o CVW 82158, não foi influenciado, em função do aumento das doses do nutriente (Figura 26).

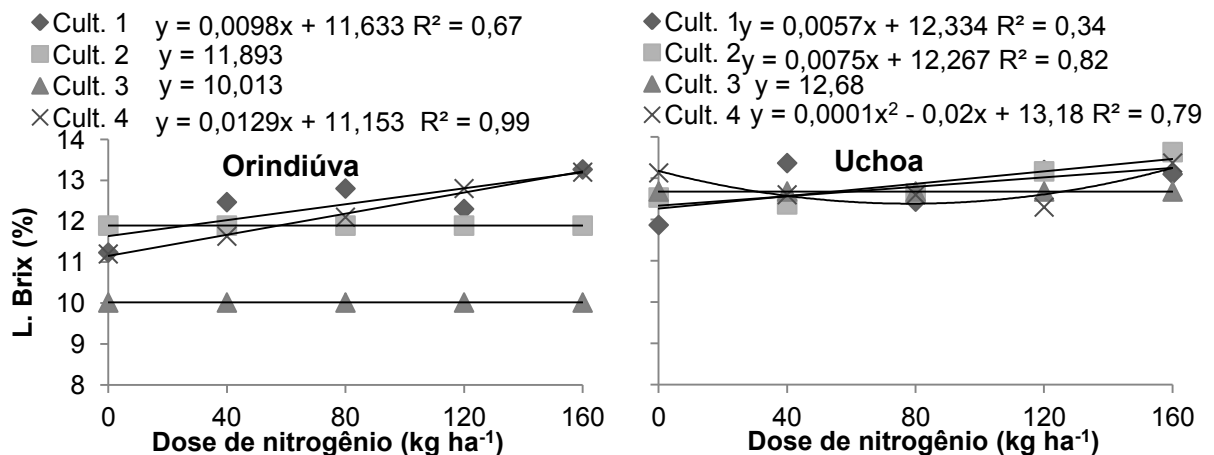


Figura 26: Brix do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

O desdobramento estatístico da análise de variância para Pureza, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, demonstrou aumentos de seus valores em função da aplicação nitrogenada dos tratamentos. Em Orindiúva observou-se que o cultivar CVW 82028 se destacou frente aos demais, enquanto, em Uchoa, apenas o cultivar CVSW 80007 apresentou resultados estatisticamente inferiores aos outros materiais (Figura 27).

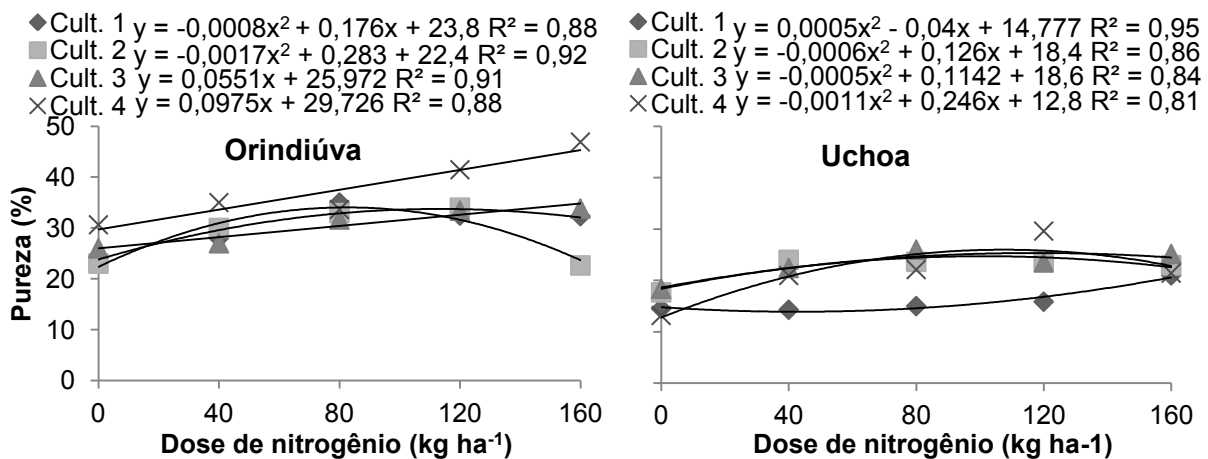


Figura 27: Pureza do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Fazendo o desdobramento da análise estatística, constatou-se que houve diferenças significativas nos resultados de ATR, em função dos cultivares e doses de nitrogênio em Orindiúva. Os cultivares CVSW 80007, CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram tendência quadrática crescente, com destaque para CVW 82028, que obteve valores significativamente maiores que os demais, enquanto CVW 80147 não sofreu alterações, em função das doses aplicadas de nitrogênio (Figura 28).

No experimento de Uchoa verificou-se alterações significativas de ATR nos cultivares CVSW 80007 e CVW 82158 em função das doses de N, enquanto que os cultivares CVW 80147 e CVW 82028 não tiveram seus valores modificados (Figura 28).

Verificou-se que, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, os cultivares sofreram alterações significativas no rendimento de etanol, em função das doses de nitrogênio aplicadas, com ênfase para o cultivar CVW 82028, que se destacou dos demais em Orindiúva, com ponto de máximo rendimento em $1.252,07$ l etanol ha^{-1}

com 117,7 kg ha⁻¹ de N. Em Uchoa, o cultivar CVW 82158 (C3) se destacou dos demais, com rendimento máximo esperada de 1.327,75 l etanol ha⁻¹ com de 83,83 kg ha⁻¹ de N (Figura 29).

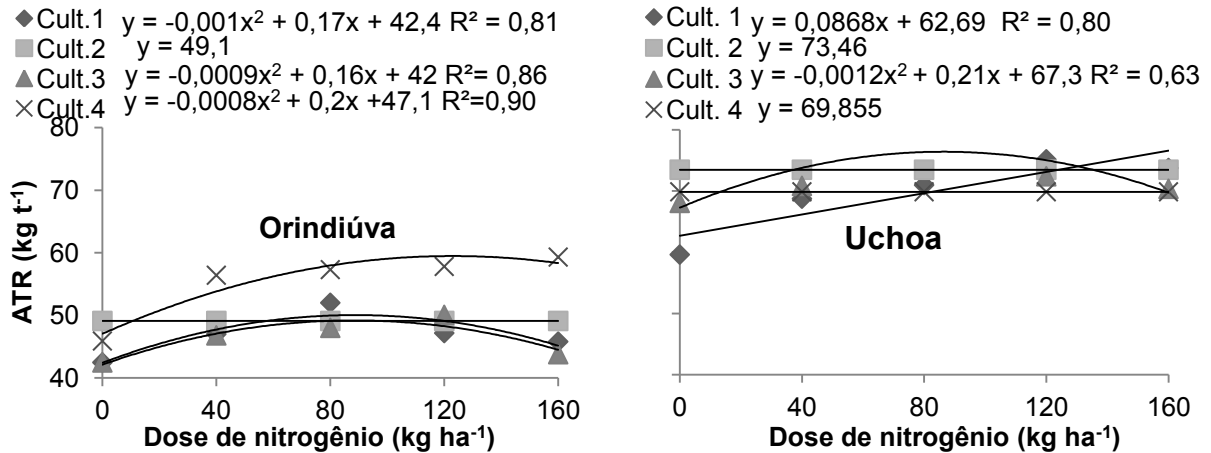


Figura 28: ATR do sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

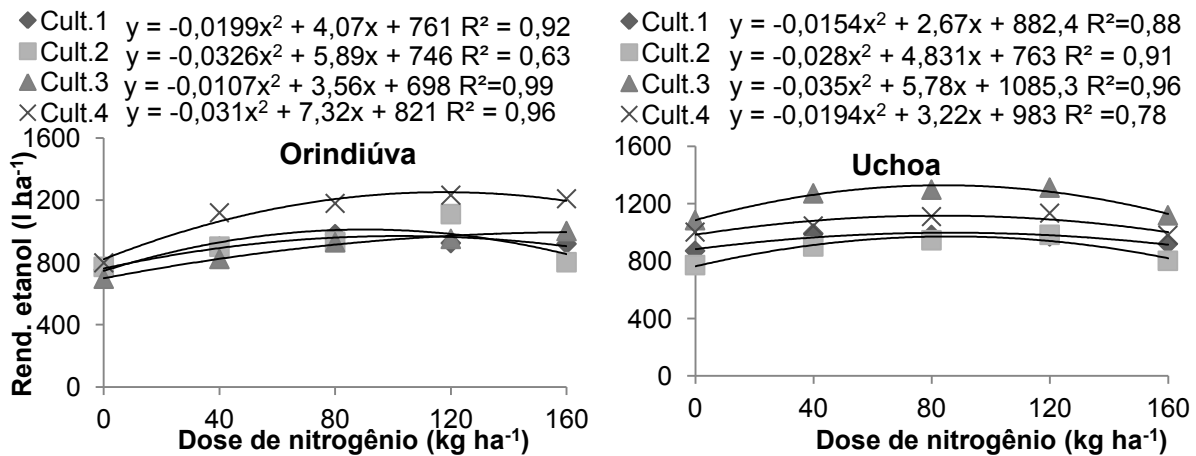


Figura 29: Rendimento de etanol do sorgo sacarino em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e doses de nitrogênio

No **Experimento 3** verificou-se diferenças significativas da POL do caldo, fibra, brix, ATR e rendimento de etanol, em função dos cultivares de sorgo sacarino utilizados (Tabela 15).

As estratégias de aplicação de nitrogênio proporcionaram diferenças significativas na POL do caldo, ATR e rendimento de etanol, os modos de aplicação do nutriente imprimiram diferenças significativas para POL do caldo, pureza, ATR e

produtividade de etanol. Observou-se também que as testemunhas apresentaram resultados significativamente distintos para POL do caldo, fibra, pureza e ATR (Tabela 15).

Tabela 15: POL do caldo, fibra, pureza, produtividade de colmos, ATR e rendimento de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino em função das estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.

Causa de variação	POL caldo	Fibra	Brix	Pureza	ATR	Rendimento etanol
	.....% .....				kg t ⁻¹	l ha ⁻¹
Cultivar						
CVSW 80007	2,33 b	13,04 a	12,22 ab	20,48 a	40,78 b	1205,50 b
CVW 80147	2,08 c	11,21 b	12,78 a	16,65 a	40,09 b	1291,88 b
CVW 82158	1,98 c	12,16 ab	12,10 b	16,81 a	38,51 b	1286,25 b
CVW 82028	2,79 a	12,68 ab	12,55 ab	19,74 a	44,95 a	1343,75 a
Teste F	48,68**	2,89*	3,75*	3,46 ^{NS}	18,53**	33,53**
Estratégia						
E1	2,08 b	11,70 a	12,53 a	20,02 a	38,22 c	1261,88 b
E2	2,28 a	12,65 a	12,70 a	17,87 a	40,41 bc	1298,86 b
E3	2,40 a	12,10 a	12,23 a	17,49 a	42,72 ab	1309,63 a
E4	2,42 a	12,65 a	12,18 a	18,29 a	43,00 a	1249,13 b
Teste F	9,32**	0,99 ^{NS}	2,40 ^{NS}	1,11 ^{NS}	12,24**	15,94**
Modo						
M1	2,62 a	12,29 a	12,39 a	19,92 a	43,13 a	1276,19 a
M2	1,97 b	12,26 a	12,43 a	16,92 b	39,04 b	1283,44 a
Teste F	158,16**	0,01 ^{NS}	0,08 ^{NS}	7,95**	40,99**	0,82 ^{NS}
Interações						
Cult. X Estrat.	16,48**	1,17 ^{NS}	0,87 ^{NS}	1,62 ^{NS}	7,99**	9,32**
Cult. X Modo	30,47**	0,14 ^{NS}	0,77 ^{NS}	1,81 ^{NS}	5,92**	3,74*
Estrat. X Modo	8,84**	1,32 ^{NS}	0,40 ^{NS}	4,82**	0,75 ^{NS}	0,59 ^{NS}
Cult. X Estr. x Modo	17,75**	0,64 ^{NS}	0,97 ^{NS}	2,05*	6,01**	4,24*
Testemunha						
T1	1,14 c	11,51 b	12,30 a	10,34 b	49,10 ab	1295,12 a
T2	3,35 a	11,55 b	12,50 a	16,54 b	52,39 a	1340,78 a
T3	3,16 a	16,64 a	11,70 a	32,19 a	44,06 b	1345,76 a
T4	2,58 b	12,10 ab	12,03 a	15,23 b	44,25 b	1355,20 a
Teste F	11,33**	3,49*	1,31 ^{NS}	9,92**	4,99**	1,41 ^{NS}
Interação						
Test. x Fatorial	11,33**	0,93 ^{NS}	1,31 ^{NS}	0,01 ^{NS}	44,21**	0,01 ^{NS}
C.V.	10,87	18,59	6,38	28,22	7,48	8,32

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

No desdobramento da análise de variância do **Experimento 3**, observou-se que a POL do caldo teve seus resultados alterados em função dos cultivares de sorgo sacarino e das estratégias e modos de aplicação de nitrogênio (Figura 30).

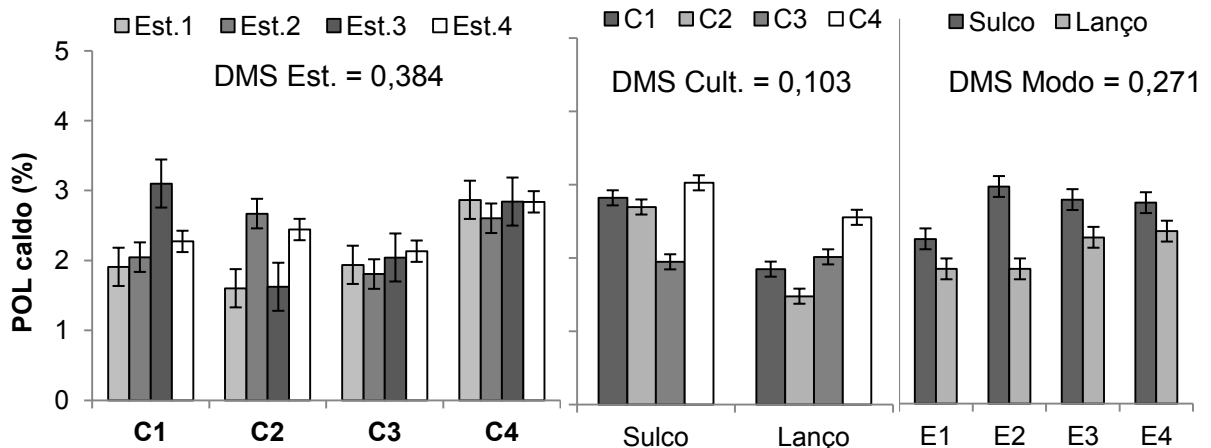


Figura 30: POL do caldo do sorgo sacarino, em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e das estratégias e modos da aplicação nitrogenada

O cultivar CVSW 80007 apresentou seu melhor resultado com a utilização da estratégia E3 e aplicação nitrogenada no sulco de plantio. No cultivar CVW 80147, as melhores estratégias foram a E2 e E4, também com aplicação no sulco e, nos cultivares CVW 82158 e CVW 82028 não houve diferenças estatísticas nos resultados, em função das estratégias adotadas (Figura 30).

Para o cultivar CVW 82158 não houve diferenças significativas quanto ao modo de aplicação do nutriente, enquanto que, para o restante dos cultivares, a aplicação no sulco de plantio proporcionou os melhores resultados, com ênfase para CVW 82028, que se destacou dentre os cultivares de sorgo sacarino (Figura 30).

Observou-se também que os tratamentos testemunhas, sem aplicação de N, apresentaram resultados superiores aos tratamentos com aplicação de N, para os cultivares CVW 80147 e CVW 82158. A aplicação de nitrogênio no sulco de plantio obteve resultados superiores à aplicação a lanço, para POL do caldo, quando utilizados os cultivares CVSW 80007, CVW 80147 e CVW 82028 e também para todas as estratégias de aplicação do nutriente no sorgo sacarino (Figura 30).

Não foram observadas interações significativas dos cultivares, estratégias e modos de aplicação de N para produção de Fibra (Tabela 15). Entre os cultivares, o CVSW 80007 apresentou resultados significativamente diferentes de CVW 80147, enquanto que CVW 82158 e CVW 82028 não diferiram dos outros tratamentos. Observou-se também que as testemunhas apresentaram resultados iguais ou superiores aos tratamentos com aplicação nitrogenada (Figura 31).

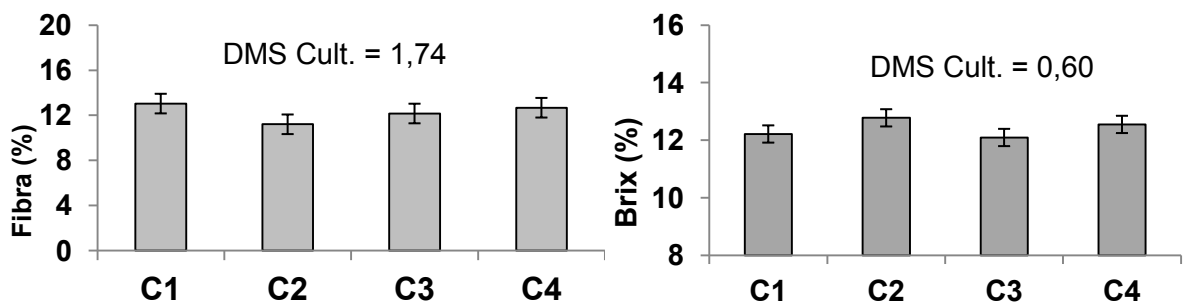


Figura 31: Fibra e brix do sorgo sacarino, em função dos cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e das estratégias e modos da aplicação nitrogenada

Somente os cultivares de sorgo sacarino, com aplicação de nitrogênio, apresentaram resultados significativamente diferentes nos valores de brix, sendo que, o cultivar CVW 80147 se destacou frente ao CVW 82158 (Figura 31).

Com a análise de variância para pureza, foi possível observar que não houve diferenças significativas entre os cultivares com aplicação de nitrogênio, porém, comparando-se as testemunhas, sem aplicação do nutriente, verificou-se que, o cultivar CVW 82158 se destacou dos demais e que, estes, não diferenciaram significativamente entre si (Figura 32).

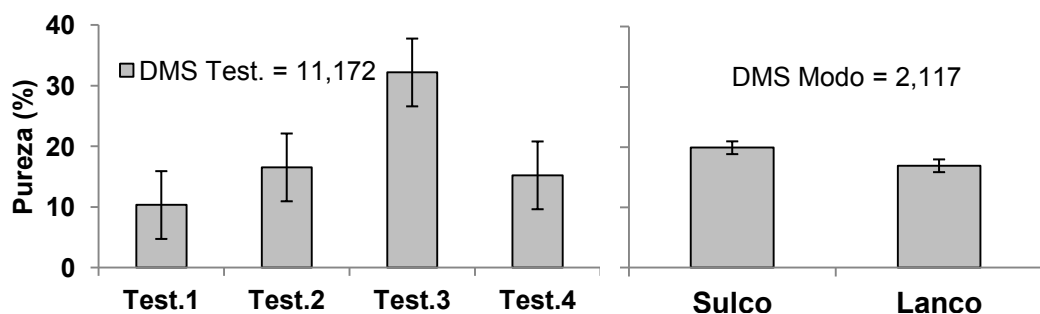


Figura 32: Pureza do sorgo sacarino em função do modo de aplicação de N e nas testemunhas

Observou-se ainda que a aplicação de N no sulco de plantio obteve resultados significativamente superiores à aplicação a lanço (Figura 32).

Embora tenham sido observadas alterações significativas nos valores da ATR dos cultivares de sorgo sacarino, em função das estratégias adotadas de aplicação de N, percebeu-se também que os tratamentos testemunhas sempre tiveram ganhos superiores ou iguais aos tratamentos com aplicação de N e que, a adubação nitrogenada surtiu melhores respostas no sulco de plantio. Observou-se também que as estratégias E3 e E4, ou seja, com parcelamento da aplicação de nitrogênio, proporcionaram melhores resultados para ATR, porém, sem interação com os modos de aplicação (Figura 33).

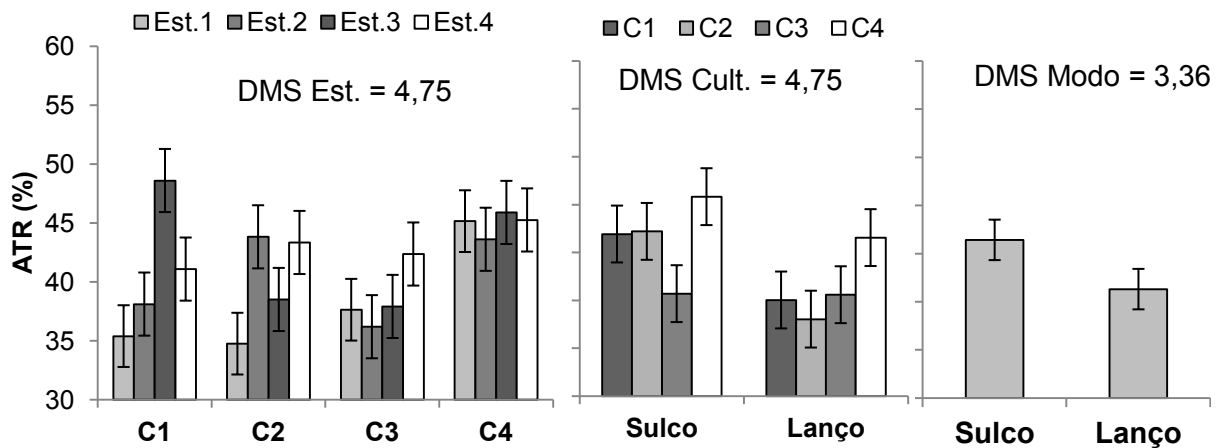


Figura 33: ATR do sorgo sacarino em função de cultivares e da estratégia e modo de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Por meio do estudo das interações entre os fatores, foi possível verificar que o cultivar CVSW 80007 apresentou resultados significativamente diferentes entre as estratégias E3 e E4 para rendimento de etanol, com destaque para o maior parcelamento de N, porém com resultados semelhantes a E1 e E2 (Figura 34).

No cultivar CVW 80147, o parcelamento da aplicação nitrogenada em 20 kg ha⁻¹ no plantio e 100 kg ha⁻¹ em V4-V5, proporcionou maior rendimento de etanol, independentemente do modo de aplicação (Figura 34).

CVW 82158 conseguiu maiores resultados com a utilização das estratégias E1, E2 e E3, independentemente do modo de aplicação e, CVW 82028, não apresentou diferenças significativas em função das estratégias e modos de aplicação do nutriente (Figura 34).

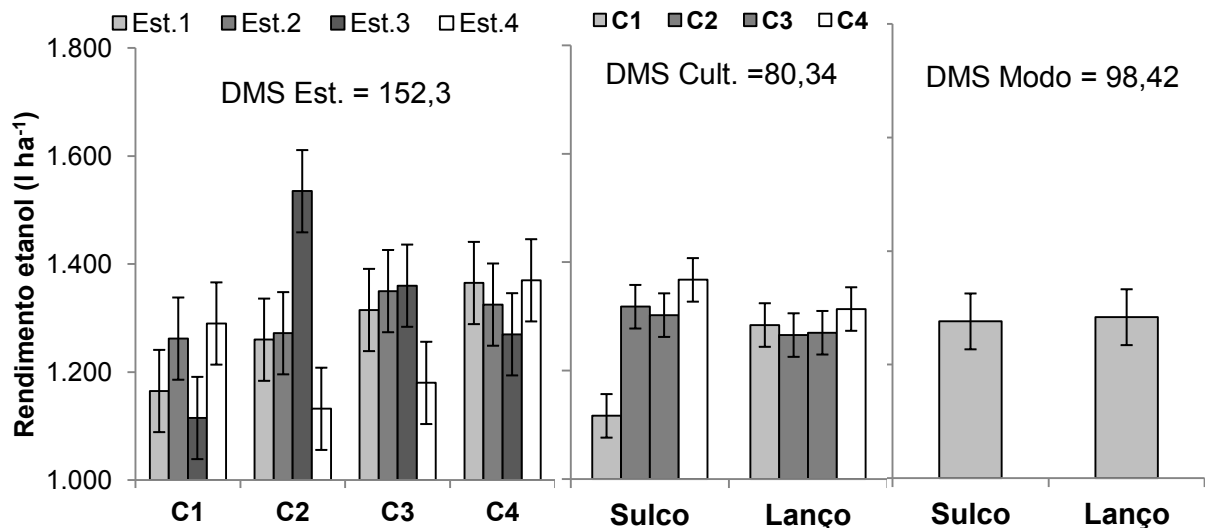


Figura 34: Rendimento de etanol do sorgo sacarino em função de cultivares e das estratégias e modos de aplicação de N. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

A qualidade do caldo não é a mesma em todos os cultivares de sorgo sacarino. A produtividade e qualidade do caldo extraído do sorgo são influenciados pelos cultivares utilizados, adubações, populações de plantas, épocas de semeaduras e tipos de solo (MOKADEM et al., 1999; GUTTE et al., 2008).

Exceto para o cultivar CVW 80147, que apresentou decréscimos nos valores da POL do caldo e, CVW 82158, que foi indiferente para esta variável, em função das doses de N no experimento de Orindiúva, todos os outros resultados apresentaram respostas positivas quando da aplicação de doses do nutriente, nos dois experimentos avaliados (Figura 24).

Os resultados deste trabalho para POL do caldo, envolvendo doses de N e cultivares de sorgo sacarino, ficaram entre 2,05 e 4,68%, valores estes, muito abaixo dos 10 a 25% encontrados por Hunter e Anderson (1997).

Sumantri e Lestari (1997), Galani et al. (1991) e Leible e Kahnt (1991), Mcbee et al. (1987), Kachapur e Hunje R. (1996) e Almodares et al. (1996; 2008b) verificaram aumentos da POL do caldo do sorgo sacarino em função das doses de nitrogênio, porém, Biczak et al. (1998) observaram diminuição do açúcar total com a aplicação do nutriente.

Como dito anteriormente, quando da uniformização da dose de N para 120 kg ha⁻¹, o cultivar CVSW 80007 apresentou melhores resultados para POL do caldo, com o parcelamento da dose, aplicando-se 20 kg ha⁻¹ no momento do plantio e 100 kg ha⁻¹ em V4 – V5 (Figura 30).

O cultivar CVW 80147 obteve melhores resultados com a aplicação de todo N (120 kg ha⁻¹) em V4 – V5 ou com parcelamento máximo, 20 kg ha⁻¹ no plantio, 70 kg ha⁻¹ em V4 – V5 e 30 kg ha⁻¹ 10 dias após e, CVW 82158 e CVW 82028 foram indiferentes à estratégia de aplicação nitrogenada (Figura 30).

Almodares et al. (1996) verificaram que as melhores respostas para POL do caldo em sorgo sacarino apareceram quando da adubação nitrogenada no momento do perfilhamento.

Observou-se neste trabalho, a supremacia dos cultivares CVW 82158 e CVW 82028 nos experimentos de Orindiúva de Uchoa e, dos cultivares CVSW 80007, CVW 82158 e CVW 82028, no **Experimento 3**, para os maiores valores de fibra, mesmo assim, os resultados dos experimentos, que variaram entre 11,19 e 13,36%, em função dos vários tratamentos aplicados (Figura 25), ficaram no limite mínimo dos resultados da literatura, onde Santos (2006) observou variações de 10 a 19%.

Não foram observadas variações significativas nos valores de fibra do sorgo sacarino, nos dois experimentos, em função das doses aplicadas de nitrogênio.

Zambolim (1998) relata que altos níveis de nitrogênio nas plantas podem diminuir o teor de lignina, podendo contribuir para a redução dos teores de fibra.

A quantidade ideal de fibras no sorgo sacarino ainda é controversa, pois ela pode diminuir a extração do caldo e, conseqüentemente reduzir o teor de açúcar (ALMODARES et al., 2010) e a utilização da tecnologia da hidrólise enzimática para produção de etanol a partir dela, ainda é emergente (WORLEY et al., 1992).

Verificou-se diferenças significativas nos valores de brix em todos os experimentos instalados (Figuras 26 e 31). Em Orindiúva, os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 obtiveram resultados superiores aos demais em função das doses aplicadas de N. Em Uchoa, apenas o cultivar CVW 82158 não apresentou diferenças em seus resultados e, no **Experimento 3**, além dos cultivares CVSW 80007 e CVW 80147, semelhantes ao experimento de Orindiúva, ainda observou-se destaque para o CVW 82028.

Tais resultados, em função dos cultivares estudados, se assemelham a observações de Koleman e Stokes (1964) e Xiang-Kun et al. (2009).

Pholsen e Sornsungnoen (2004), no entanto, relatam que somente a dose de nitrogênio altera os valores de brix do sorgo sacarino.

Neste trabalho foi possível observar que os valores de brix no momento da colheita variaram de 10,01 a 13,1% e ficaram abaixo dos ideais encontrados na literatura (PRASAD et al., 2007; SOUZA et al., 2005; ALMODARES e SEPAHI, 1996; KOLEMAN e STOKES, 1964; ROBERTO FILHO et al., 2008).

Prasad et al. (2007) relatam que, no início da colheita, o Brix do caldo do sorgo sacarino chega a 12%, progredindo a 17% até o final, com média de 15%, devendo, a cultura, ser colhida quando o mesmo estiver entre 15,5 e 16,5%. Souza et al. (2005) prescreve a colheita entre 14 e 18,5% e Almodares e Sepahi (1996) verificaram Brix de 14,32 a 22,85% no caldo do sorgo sacarino.

Borgonovi e Giacomini (1980) e Marchezan e Silva (1984) destacam que o momento ideal para o corte do sorgo sacarino, a fim de se obter os maiores valores de brix, estão entre 28 e 31 dias após a floração.

O valor da pureza é um dado importante, que influencia diretamente no cálculo de ATR, porém os valores encontrados nestes experimentos mostram grandes discrepâncias. Em Orindiúva, a interação do cultivar CVW 82028 e doses de nitrogênio apresentou melhores resultados, com ajuste linear positivo (Figura 28). No experimento de Uchoa, a interação CVSW 80007 e doses de nitrogênio apresentou resultados inferiores aos demais (Figuras 27 e 32).

Almodares et al. (1996), estudando cultivares e doses de ureia, verificaram que a produtividade de colmos e percentagens de brix e sacarose foram maiores no cultivar Rio. Maiores valores de sacarose e pureza foram observados com 100 kg ha⁻¹ de ureia, aplicados na fase inicial da cultura e, maiores doses de N aumentaram a produtividade de colmos, mas diminuíram a pureza.

A queda dos valores de pureza do sorgo sacarino, relatados por Almodares et al. (1996), em função das doses aplicadas de N, também pôde ser observada neste trabalho, com os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147, em Orindiúva e, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028, em Uchoa (Figura 27).

Para a variável ATR, foram observadas diferenças significativas entre os cultivares plantados, entre as doses de N aplicadas e, verificou-se também, que houve interação significativa dos fatores nos experimento de Orindiúva e Uchoa (Tabelas 13 e 14).

Em Orindiúva, observou-se destaque para o cultivar CVW 82028 (C4) de sorgo sacarino, em função das doses de N, com valores de ATR máximo esperado de 59,82 kg t⁻¹ e aplicação de 126,25 kg ha⁻¹ de N, enquanto que, em Uchoa, o valor esperado de ATR para o cultivar CVW 82158 (C3) é de 76,45 kg t⁻¹, com a aplicação de 87,5 kg ha⁻¹ do nutriente (Figura 28).

Os aumentos da ATR dos dois experimentos de delineamento e tratamentos (Figura 28) não foram confirmados no **Experimento 3**, pois verificou-se que a adubação nitrogenada não contribuiu para o incremento desta variável, uma vez que as testemunhas apresentaram resultados superiores ou semelhantes aos cultivares com aplicação de 120 kg ha⁻¹ (Figura 33).

Os valores absolutos encontrados no rendimento de etanol nestes três experimentos variaram de 743 a 1343 l ha⁻¹ (Tabelas 13, 14 e 15), estando muito abaixo das médias observadas no ano de 2012 pela EMBRAPA (2013), onde foram obtidos 2400 l ha⁻¹ em média, porém, com o estudo das interações, é possível estimar o rendimento máximo esperado, obtendo-se 1252,07 l ha⁻¹ de etanol, com a aplicação de 117,7 kg ha⁻¹ de N, no cultivar CVW 82028, no experimento de Orindiúva e, 1323,75 l ha⁻¹ de etanol, com 83,83 kg ha⁻¹ de N, no cultivar CVW 82158, no experimento de Uchoa (Figura 29).

É possível que a menor incidência de chuvas na região de Uchoa (Tabela 1) tenha propiciado maiores valores de Brix (Figura 26) e ATR (Figura 28), culminando num melhor rendimento de etanol, onde o cultivar CVW 82158 se destacou dos demais, produzindo 1327,75 l etanol ha⁻¹.

O potencial de rendimento de etanol, para sorgo sacarino, está estimado em 3500 l ha⁻¹ (EMBRAPA, 2013), concordando com resultados de Smith e Buxton (1993), que estudando a cultura do sorgo sacarino por dois anos, verificaram rendimento de etanol variando de 3100 a 5235 l ha⁻¹.

Neste trabalho, foram observadas relações significativas e positivas entre valores de nitrogênio acumulado no colmo com POL do caldo, brix, pureza, ATR e

rendimento de etanol no experimento de Orindiúva e, entre valores de nitrogênio acumulado no colmo com POL do caldo, pureza, ATR e rendimento de etanol no experimento de Uchoa (Tabela 16), podendo-se inferir que a presença e a quantidade do nutriente nos colmos das plantas de sorgo sacarino podem interferir nos valores destas variáveis.

Tabela 16: Equações de regressão de POL do caldo, fibra, brix, pureza, ATR e rendimento de etanol, do sorgo sacarino, em função do N acumulado no colmo.

Variável	N acumulado na MS do colmo
Orindiúva	
POL do caldo	$y = 2,631 + 0,014x \quad R^2 = 0,519^*$
Fibra	NS
Brix	$y = 10,017 + 0,023x \quad R^2 = 0,509^*$
Pureza	$y = 19,481 + 0,142x \quad R^2 = 0,652^{**}$
ATR	$y = 40,848 + 0,104x \quad R^2 = 0,505^*$
Rend. etanol	$y = 734,212 + 5,439x \quad R^2 = 0,653^*$
Uchoa	
POL do caldo	$y = 1,249 + 0,012x \quad R^2 = 0,470^*$
Fibra	NS
Brix	NS
Pureza	$y = 2,425 + 0,153x \quad R^2 = 0,664^{**}$
ATR	$y = 62,269 + 0,075x \quad R^2 = 0,506^*$
Rend. etanol	$y = 452,93 + 8,722x \quad R^2 = 0,725^{**}$

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo.

O nitrogênio é constituinte das estruturas dos aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, vitaminas, glico e lipoproteínas, pigmentos e produtos secundários, além de participar de todas as reações e processos metabólicos, tais como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular e herança genética (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN e BLOOM, 2006).

O sorgo sacarino é uma planta tipo C4 com alta produtividade de biomassa e açúcar (ANTONOPOULOU et al., 2008; ZHAO et al., 2009) e, a aplicação de N, aumenta o teor de sacarose, percentual de proteína e taxa de crescimento do sorgo sacarino (GALANI et al., 1991).

É possível que as relações observadas entre acúmulo de nitrogênio nos colmos do sorgo sacarino e os seus valores tecnológicos (Tabela 16) possam ser

decorrentes dos efeitos do nutriente dentro das plantas, promovendo o aumento da área foliar (ALMODARES et al., 2006), devido sua ação direta na alongação e divisão celular (STALS e INZE, 2001) e do incremento no metabolismo da planta, em função do trabalho das enzimas que são constituídas por nitrogênio (MALAVOLTA, 2006), podendo incorrer portanto, no aumento da produção de açúcares (LEIBLE e KAHNT, 1991) e, estes, em etanol (WOODS, 2001).

Malavolta (1993) alerta, no entanto, que o excesso de nitrogênio pode acarretar redução nos teores de sacarose.

5.6. IAF (índice de área foliar)

5.6.1. Fator de forma ou ajuste (F_f) e fator de área foliar (FAF)

Sendo um importante índice para o estudo de populações de plantas (VIEIRA JUNIOR et al., 2006; DWYER et al., 1992; DOURADO NETO et al., 2001; MADDONI et al., 2001), visando o aumento da atividade fotossintética (MACHADO, 1985; SACHULZE e CALDWELL, 1995; LOPES e MAESTRI, 1973) e, para determinação de outros índices de crescimento, buscou-se, neste estudo, identificar os melhores fatores de correção para a determinação do IAF do sorgo sacarino.

Conforme descrição feita no material e métodos deste trabalho, adotou-se o valor 0,73 como fator de forma ou ajuste (F_f), concordando com resultados de Mckee (1964), Dwyer e Stewart (1986) e Stewart e Dwyer (1999), apresentando R^2 de 96,84% entre as áreas foliares estimadas e planimetradas. Vieira Junior et al. (2006) destacam que este coeficiente deve estar acima de 80% para indicar a utilização da metodologia proposta por Stewart e Dwyer (1999), na determinação da área foliar de plantas de milho dos genótipos brasileiros.

Para os cultivares de sorgo sacarino estudados, os valores de FAF (fator de área foliar) encontrados foram significativamente diferentes, adotando-se portanto 8,1050 para o cultivar CVSW 80007; 7,7817 para CVW 80147; 9,7483 para CVW

82158 e 10,7633 para CVW 82028. Pereira (1987), trabalhando com milho tipos dentado e duro, concluiu que o FAF da cultura variou entre 10,5 e 10,2.

Observou-se que para cultivares de menor número de nós e, conseqüentemente, menor número de folhas, o FAF foi mais baixo, quando comparado com cultivares de maior número de folhas.

O estudo de regressão mostrou que os valores de FAF apresentados acima se relacionaram significativamente com o número de folhas de cada experimento, apresentando um coeficiente de relação de 82,67% no experimento de Orindiúva, 81,03% no experimento de Uchoa e 82,21% no **Experimento 3**.

Outra observação interessante foi a de que, predominantemente, a folha indicada para ser utilizada nestes cálculos de área foliar foi a sexta, da base para o ápice, conforme apresentado nos cultivares CVSW 80007, CCW 80147 e CVW 82158 (Figura 35), divergindo de VIEIRA JUNIOR et al. (2006), que verificaram que, no milho, a folha melhor indicada, por possuir maior área foliar foi a sétima ou a mais próxima à espiga.

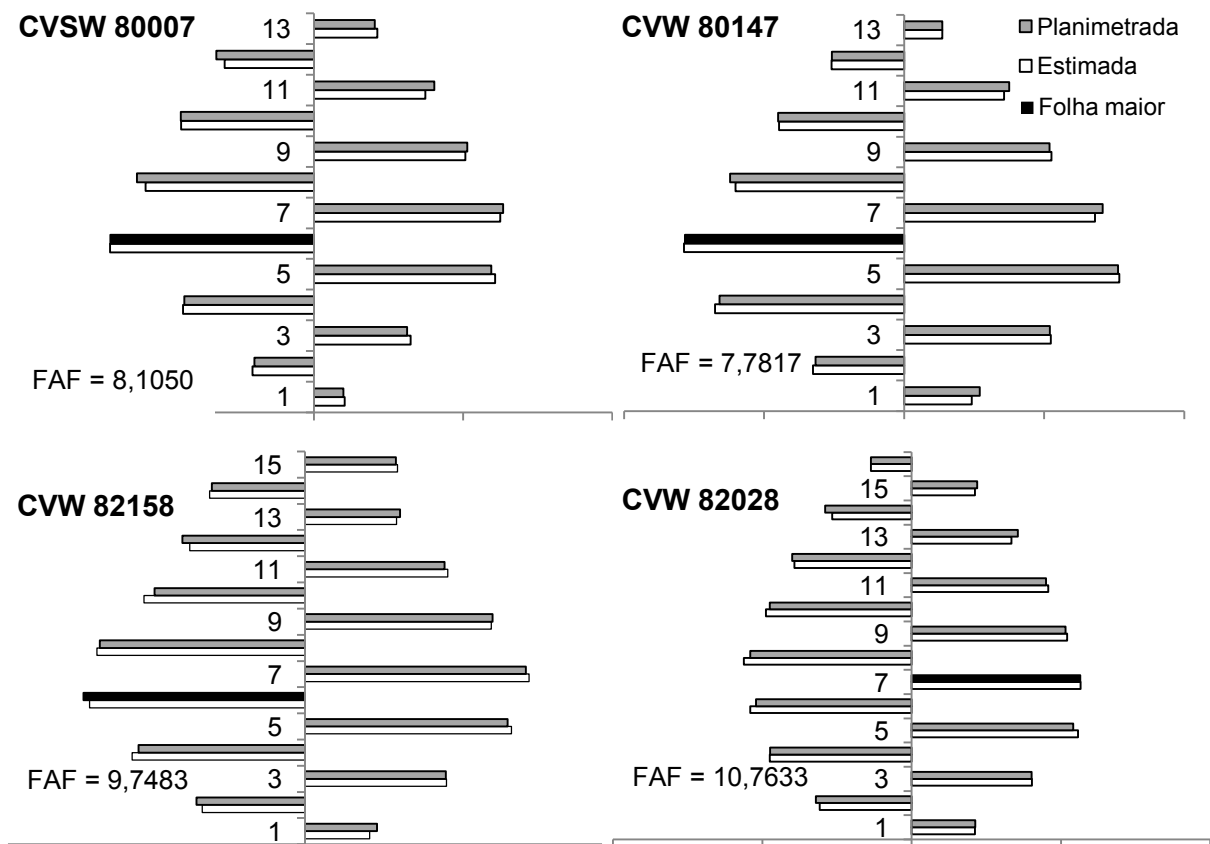


Figura 35: Áreas foliares planimetradas e estimadas de quatro cultivares de sorgo sacarino.

5.6.2. Valores de IAF

Em Orindiúva, observou-se que os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 tiveram os valores de IAF (índice de área foliar) significativamente superiores aos cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 e que as doses de nitrogênio interferiram nesta variável. Também foi constatado que houve interação dos fatores cultivares de sorgo sacarino e doses de N para esta variável (Tabela 17).

Tabela 17: Índice de área foliar do sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio.

Causa de Variação	Índice de área foliar (IAF)	
	Orindiúva	Uchoa
	.....m ² m ⁻²	
Cultivar		
CVSW 80007	4,86 b	4,82 c
CVW 80147	5,02 b	5,14 b
CVW 82158	5,40 a	5,24 b
CVW 82028	5,58 a	6,30 a
Teste F	19,41**	81,66**
Dose		
kg ha ⁻¹		
0	4,82 c	5,20 b
40	5,11 b	5,29 b
80	5,13 b	5,45 ab
120	5,23 a	5,32 ab
160	5,24 a	5,61 a
Teste F	3,48*	4,06**
Teste F		
Cult.xDose	3,62*	3,76*
C.V.	5,59	5,14

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Em Uchoa, observou-se também, que o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais, que as doses de nitrogênio promoveram ganhos crescentes nos valores de IAF e, que houve interação significativa dos fatores (Tabela 17).

Fazendo o desdobramento das análises estatísticas dos dois experimentos, verificou-se que o cultivar CVW 82028 obteve, significativamente, os maiores resultados de IAF, em função das doses aplicadas de N, seguido de CVW 82158, CVW 80147 e, por fim, o CVW 80007 (Figura 36).

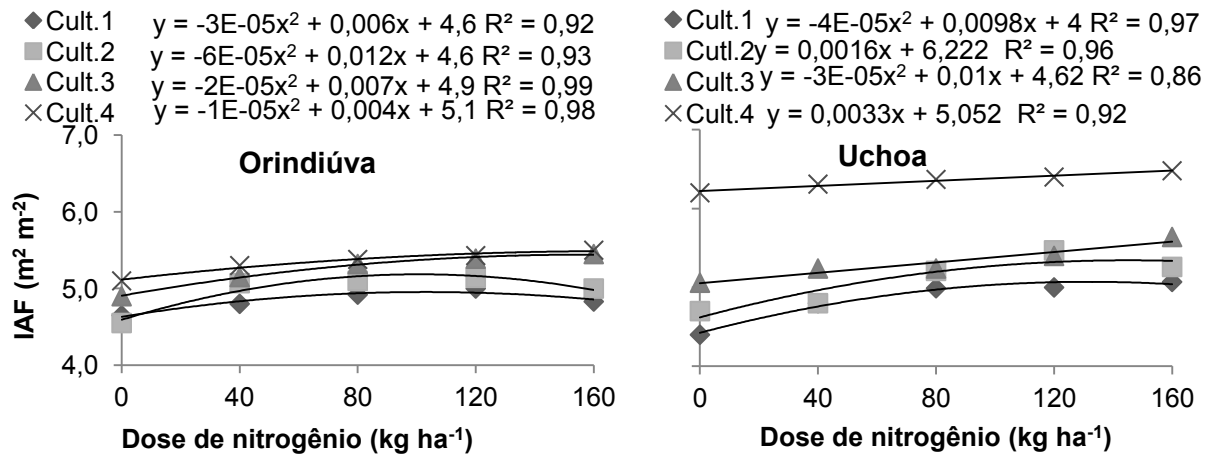


Figura 36: IAF do sorgo sacarino em função dos cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

No experimento de Orindiúva, todos os cultivares apresentaram resultados de IAF com tendência quadrática crescente e, no experimento de Uchoa, os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 obtiveram ajuste quadrático crescente para IAF, em função das doses de N, enquanto que, os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram linear linear crescente (Figura 36).

Verificou-se, no **Experimento 3**, que o cultivar CVW 82028 e a aplicação de todo nitrogênio no momento do plantio do sorgo sacarino (E1) proporcionaram valores de IAF significativamente superiores aos demais cultivares e estratégias de adubação. As testemunhas CVW 82158 e CVW 82028 se destacaram dos outros genótipos, enquanto os modos de adubação de nitrogênio não apresentaram diferenças significativas dos resultados. Houve interação significativa entre cultivares de sorgo e estratégias de adubação nitrogenada (Tabela 18).

Observou-se que, no cultivar CVSW 80007, a aplicação de todo nitrogênio no momento do plantio ou aplicação de 20 kg ha⁻¹ no nutriente no plantio mais 100 kg ha⁻¹ no estágio V4 – V5, proporcionaram valores semelhantes entre si e

significativamente superiores aos outros cultivares de sorgo sacarino, para a variável IAF (Figura 37).

Tabela 18: Índice de área foliar do sorgo sacarino em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio.

Causa de Variação	Experimento 3	
	IAF	
	.....m ² m ⁻²	
Cultivar		
CVSW 80007	5,41	bc
CVW 80147	5,28	c
CVW 82158	5,66	b
CVW 82028	5,93	a
Teste F	17,74**	
Estratégia		
E1	5,84	a
E2	5,51	b
E3	5,56	b
E4	5,37	b
Teste F	8,28**	
Modo		
M1	5,63	a
M2	5,51	a
Teste F	2,69 ^{NS}	
Interações		
Cult. X Estrat.	13,37**	
Cult. X Modo	8,34**	
Estrat. X Modo	8,67**	
Cult. X Estr. x Modo	2,50*	
Testemunha		
T1	3,55	b
T2	3,50	b
T3	4,79	a
T4	5,17	a
Teste F	19,93**	
Interação		
Test. x Fatorial	167,72**	
C.V.	4,25	

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, NS não significativo. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

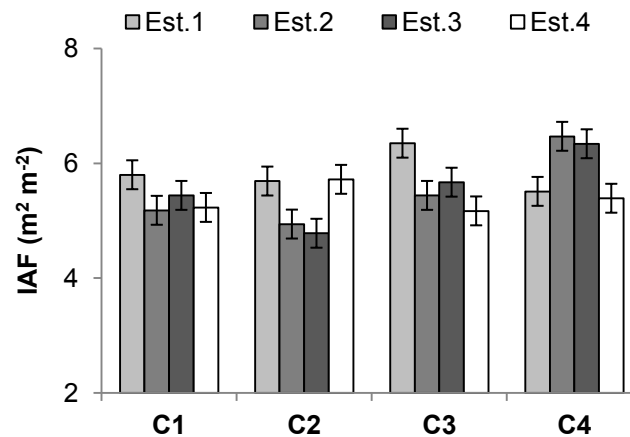


Figura 37: IAF do sorgo sacarino em função de cultivares e estratégias de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

No cultivar CVW 80147, os valores encontrados de IAF foram semelhantes quando da aplicação de todo N no momento do plantio ou com o maior parcelamento do nutriente, ficando superiores as outras estratégias, enquanto no CVW 82158 a aplicação do nitrogênio no momento do plantio se destacou das demais e, em CVW 82028, a aplicação do N no estágio V4 – V5 obteve os maiores resultados de IAF, juntamente com a estratégia E3, onde houve a aplicação de 20 kg ha⁻¹ no plantio e 100 kg ha⁻¹ em V4 – V5 (Figura 37).

Verificou-se também que, nos cultivares CVSW 80007 e CVW 80147, os tratamentos testemunhas apresentaram valores de IAF inferiores a todas interações com as estratégias de aplicação de N, em CVW 82158, conseguiu obter resultados semelhantes somente com a interação cultivar x estratégia E4, ficando abaixo das outras interações e, em CVW 82028, apresentou valores semelhantes somente com as interações cultivar x E1 e E4 (Figura 37).

Isto posto, constatou-se que pode haver diferenças significativas no IAF entre cultivares de uma mesma espécie.

A aplicação de nitrogênio aumenta a área foliar, o peso das folhas, colmos e da planta de sorgo sacarino (ALMODARES et al., 2006), pois favorece os efeitos de alongação e divisão celular, aumentando os índices de área foliar das plantas (STALS e INZE, 2001).

Estudando doses de nitrogênio (até 180 kg ha⁻¹ de uréia) e potássio (até 50 kg ha⁻¹), Almodares et al. (2006) verificaram que as doses maiores dos nutrientes

determinaram maior área foliar e maiores pesos de matéria seca de folhas, colmo e total na cultura do sorgo sacarino.

Em função dos resultados colhidos neste trabalho, foi constatado que a aplicação nitrogenada realmente interferiu nos valores de IAF, de forma positiva, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, semelhante aos resultados de Almodares et al. (2006), Stals e Inze (2001) e Balasubramanian e Ramamoorthy (1996ab).

Fasabi (1996) concluiu que a redução da área foliar das plantas de sorgo ocorreu com a supressão de nutrientes, na seguinte ordem decrescente: $Ca > N > Mg > P > K > S$, onde notou-se uma certa similaridade com a produção de matéria seca total. Mansab et al. (2003) relatam que, para o crescimento máximo da cultura, devem existir folhas suficientes para interceptar a radiação solar, portanto, o crescimento das plantas é dependente do seu IAF.

Observou-se também que o IAF variou em função dos cultivares e doses de N, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, ficando entre 4,5 e 6,5 $m^2 m^{-2}$, concordando com resultados de Mott e Popenoe (1977), que afirmam que estes valores podem atingir de 2 a 3, ou ainda valores maiores que 15 em gramíneas, havendo grandes diferenças entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie.

No **Experimento 3**, estes valores foram conservados para tratamentos com aplicação nitrogenada, porém, nas testemunhas, os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147, tiveram seus valores entre 3 e 5 $m^2 m^{-2}$.

Verificou-se no experimento de Orindiúva, que houve relação positiva entre os valores de N acumulado na massa da matéria seca dos colmos e índice de área foliar do sorgo sacarino ($y = 4,491 + 0,0074x$ $R^2 = 0,773^{**}$). O mesmo foi observado no experimento de Uchoa ($y = 3,206 + 0,0182x$ $R^2 = 0,577^{**}$).

Também foi possível verificar que houve relação positiva entre IAF e produtividade de etanol em Orindiúva ($y = -1834,34 + 542,48x$ $R^2 = 0,8013^{**}$) e em Uchoa ($y = -387,62 + 249,99x$ $R^2 = 0,718^*$).

Estas constatações, assim como as relações apresentadas nas Tabelas 12 e 16, demonstram que a aplicação nitrogenada pode promover o incremento no nitrogênio na massa da matéria seca dos colmos do sorgo sacarino e, conseqüentemente, propiciar aumentos nas massas das matérias verde e seca,

produtividade de colmos, POL do caldo, pureza, ATR e rendimento de etanol da cultura.

5.7. Eficiências nutricionais

5.7.1. Eficiência de absorção de N

Observou-se nos experimentos de Orindiúva e Uchoa que, para eficiência de absorção de N, ocorreram diferenças significativas entre os cultivares de sorgo sacarino, assim como em função das doses de N aplicadas. Verificou-se também interação significativa entre os fatores (Tabelas 19 e 20).

Tabela 19: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Dados do experimento de Orindiúva

Causa de Variação	Eficiências nutricionais						
	Absorç.	Utiliz.	Uso	Transloc.	Agronôm.	Fisiol.	Agrofisiol.
	.....kg kg ⁻¹						
Cultivar							
CVSW 80007	1,92 b	150,10 a	543,51 d	0,43 a	32,10 d	44,11 b	65,62 c
CVW 80147	2,77 a	131,77 a	598,50 c	0,37 b	86,73 c	48,99 b	102,80 b
CVW 82158	2,78 a	140,99 a	692,16 b	0,38 b	106,85 b	63,14 a	237,09 a
CVW 82028	2,73 a	143,26 a	740,44 a	0,44 a	157,74 a	71,14 a	220,56 a
Teste F	611,96**	1,62 ^{NS}	1718,82**	25,21**	2454,97**	227,43**	238,95**
Dose							
kg ha ⁻¹							
0		175,46 a		0,35 c			
40	4,10 a	146,39 b	1207,23 a	0,38 c	201,90 a	95,69 a	297,82 a
80	2,57 b	141,11 b	634,92 b	0,41 b	131,85 b	78,92 b	147,47 b
120	1,89 c	133,33 bc	428,47 c	0,42 b	93,35 c	62,24 c	118,37 c
160	1,64 d	111,37 c	304,00 d	0,46 a	52,18 d	45,96 d	62,41 d
Teste F	4244,09**	12,15**	34638,10**	31,22**	2358,58**	710,17**	333,69**
Teste F							
Cult.xDose	122,68**	0,75 ^{NS}	255,61**	3,83**	474,52**	85,66**	77,22**
C.V.	2,31	16,29	1,16	6,26	3,79	10,38	12,19

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade, ^{NS} não significativa a 5% de probabilidade. letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Observou-se também que, em ambos experimentos, o cultivar CVSW 80007 obteve valores de eficiência de absorção significativamente inferiores aos demais e, a dose mínima, ou seja, 40 kg ha⁻¹ de N, proporcionou maiores resultados para esta variável, em todos os cultivares (Tabelas 19 e 20).

Tabela 20: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de N. Dados do experimento de Uchoa

Causa de Variação	Eficiências nutricionais						
	Absorç.	Utiliz.	Uso	Transloc.	Agrônôm.	Fisiol.	Agrofisiol.
.....kg kg ⁻¹							
Cultivar							
CVSW 80007	3,44 d	143,91 a	609,03 c	0,43 a	79,87 b	47,89 c	118,97 b
CVW 80147	4,38 c	103,16 c	577,67 d	0,37 b	36,48 d	45,27 c	88,78 c
CVW 82158	5,17 a	117,16 b	726,47 a	0,38 b	95,09 a	81,52 a	292,48 a
CVW 82028	4,60 b	125,88 b	634,38 b	0,44 a	68,41 c	72,33 b	78,64 c
Teste F	10303,78**	27,41**	4014,71**	25,21**	796,72**	90,60**	910,00**
Dose							
kg ha ⁻¹							
0		129,61 a		0,35 b			
40	7,94 a	121,79 ab	1161,21 a	0,38 b	72,71 a	51,40 a	199,87 a
80	4,34 b	115,52 b	617,34 b	0,41 a	73,09 a	54,14 a	95,31 c
120	3,00 c	128,82 ab	438,95 c	0,42 a	66,12 b	49,39 a	120,17 c
160	2,32 d	116,90 ab	330,04 d	0,41 a	57,92 c	42,08 b	175,53 b
Teste F	124324,22**	3,23*	133220,84**	31,22**	86,13**	56,79**	525,70**
Teste F							
Cult.xDose	1589,06**	3,40**	941,50**	3,83**	404,93**	18,95**	516,82**
C.V.	0,56	10,30	0,55	6,26	4,36	9,80	12,74

* significativo a 5%, ** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Com o estudo das interações foi possível verificar que os cultivares de sorgo apresentaram ajustes quadráticos decrescentes, para eficiência de absorção de N, em função das doses do nutriente, nos dois experimentos (Figura 38).

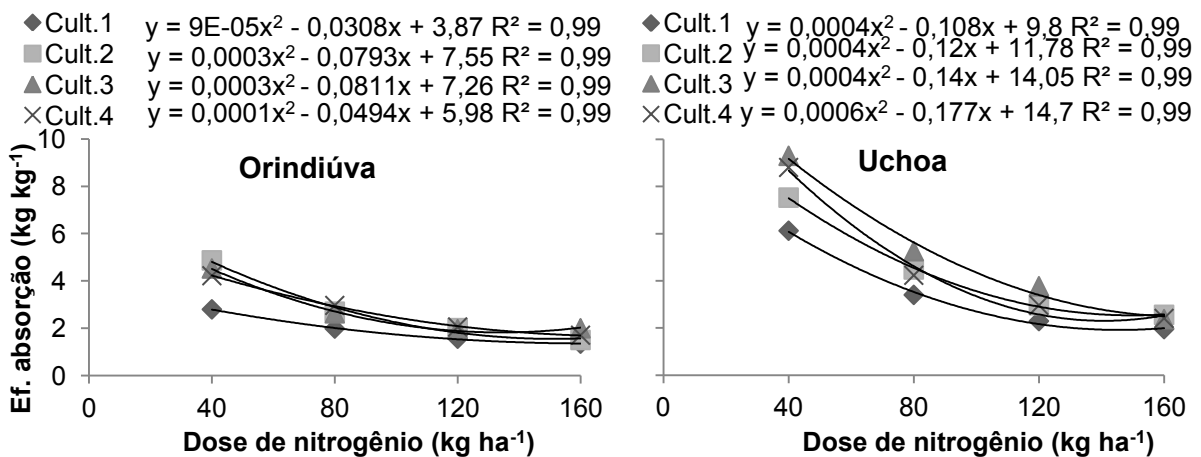


Figura 38: Eficiência de absorção de N em função de cultivares de sorgo sacarino e de doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Percebeu-se também que no experimento de Orindiúva os resultados das interações, para esta variável, se mostraram menores que no experimento de Uchoa, sobretudo quando da aplicação de doses menores do nutriente (Figura 38).

Da mesma forma, no **Experimento 3**, foi possível observar que os cultivares CVW 80147 e CVW 82158 se destacaram dos demais, assim como, as estratégias E3 e E4 e o modo de aplicação de N a lanço proporcionaram resultados significativamente superiores para eficiência de absorção do nutriente. Verificou-se também que houve interações significativas entre os fatores (Tabela 21).

Tabela 21: Eficiências nutricionais do sorgo sacarino, em função dos cultivares e estratégias e modos de aplicação de N

Causa de Variação	Eficiências nutricionais						
	Absorç.	Utiliz.	Uso	Transloc.	Agronôm.	Fisiol.	Agrofisiol.
	.....kg kg ⁻¹						
Cultivar							
CVSW 80007	2,35 c	198,26 a	469,00 c	0,41 a	67,34 a	62,15 b	157,10 b
CVW 80147	3,35 a	150,01 b	482,49 b	0,29 c	68,41 a	49,34 c	80,91 c
CVW 82158	3,30 a	152,29 b	508,46 a	0,28 c	64,51 ab	47,89 c	101,12 c
CVW 82028	3,10 b	154,67 b	500,47 a	0,32 b	58,90 b	119,2 a	326,78 a
Teste F	1444,78**	39,87**	70,44**	34,56**	5,81**	46,29**	335,96**
Estratégia							
E1	2,96 b	167,35 b	483,46 bc	0,38 c	57,57 c	78,65 b	232,33 b
E2	2,98 b	158,93 c	482,05 c	0,40 a	57,29 c	87,23 b	159,96 c
E3	3,07 a	177,23 a	504,29 a	0,39 b	78,92 a	102,3 a	312,04 a
E4	3,09 a	152,63 c	490,73 b	0,36 d	65,37 b	79,42 b	93,65 b
Teste F	29,19**	42,23**	23,05**	68,53**	32,93**	67,26**	135,05**
Dose							
M1	2,98 b	162,24 a	486,82 b	0,38 a	62,59 b	73,12 a	207,41 b
M2	3,07 a	157,12 b	493,44 a	0,36 b	67,00 a	68,91 b	260,55 a
Teste F	54,42**	13,12**	9,75**	9,35**	6,23**	8,29**	15,87**
Teste F Int.							
C x E	203,93**	46,54**	62,99**	39,78**	96,14**	82,35**	117,99**
C x M	162,76**	23,78**	27,13**	31,12**	38,39**	39,35**	45,66**
E x M	82,52**	21,13**	14,94**	19,78**	18,72**	19,21**	215,04**
C x E x M	34,78**	31,26**	34,31**	37,21**	45,02**	29,05**	172,18**
Testemunha							
T1		201,12 a		0,41 b			
T2		193,26 c		0,39 c			
T3		197,23 b		0,42 a			
T4		182,49 d		0,42 a			
Teste F		39,86**		43,23**			
Interação							
Test. x Fat.		38,27**		29,24**			
C.V.	1,96	7,21	2,12	5,49	13,36		27,86

** significativo a 1% de probabilidade.

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Para o cultivar CVSW 80007, a melhor estratégia de aplicação nitrogenada, para eficiência de absorção de N, foi a E4, ou seja, aplicação com maior parcelamento de N, realizadas a lanço. Para o cultivar CVW 80147, os melhores resultados apareceram quando da aplicação com 20 kg ha⁻¹ de N no plantio e 100 kg ha⁻¹ em cobertura (V4-V5), feita no sulco de plantio, para CVW 82158, a melhor estratégia foi a aplicação de todo N no momento do plantio, realizada a lanço e, para CVW 82028, a melhor estratégia de aplicação foi E4, independentemente do modo de aplicação (Figura 39).

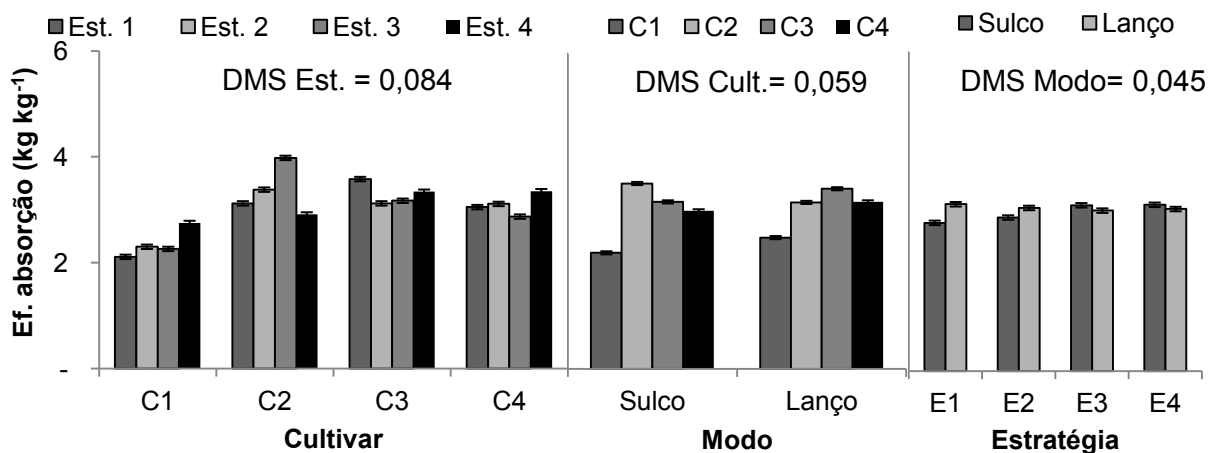


Figura 39: Eficiência de absorção de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Observou-se também que para as estratégias E1 e E2, a aplicação a lanço proporcionou resultados significativamente superiores para eficiência de absorção de N, para estratégia E3, a aplicação no sulco de plantio foi melhor e, para E4, os resultados foram semelhantes, independentemente do modo de aplicação (Figura 39).

Eficiência de absorção de nitrogênio em sorgo sacarino, expressa em kg kg⁻¹, g g⁻¹ ou mg mg⁻¹, é dada pela expressão N_t/N_a (MOLL et al., 1982), onde N_t é a quantidade total de nitrogênio acumulada na parte aérea e N_a é quantidade do nutriente aplicada.

A diminuição dos valores de eficiência de absorção de N, encontrados nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, em função da aplicação de doses de nitrogênio (Figura 38), também foram observadas por Moll et al. (1982), que verificaram que

este índice foi reduzido no milho, em valores médios, de 2,05 para 0,62 kg kg⁻¹, quando a dose de nitrogênio aumentou de 2,47 para 9,88 g planta⁻¹, fato este muito bem argumentado e explicado pela lei dos incrementos decrescentes.

Esta redução na eficiência de absorção de N em sorgo sugere que as perdas de nitrogênio no solo podem ser grandes quando da utilização de maiores doses do nutriente e também em função das estratégias e modos de aplicação de N adotados.

Abichequer et al. (1998), estudando fósforo em trigo observou que a aplicação de fósforo em solução nutritiva também reduziu os valores da eficiência de absorção do nutriente. Tal ocorrência pode ser extrapolada para cultivos em solo, segundo Novais et al. (1991).

As diferenças significativas observadas nos valores de eficiência de absorção encontradas nestes experimentos foram semelhantes aos resultados de Ben e Rosa (1983), Miranda (1985), Römer et al. (1988), Ben (1989) e Horst et al. (1993) em trigo, Vilela e Anghinoni (1984) em soja, Helal (1990) em feijão, Coltman et al. (1985) em tomate, Elliot e Läuchli (1985) em milho e Wieneke (1990) em sorgo, quando do estudo de fósforo, indicando a viabilidade e a necessidade de se desenvolver plantas mais eficientes (ABICHEQUER et al., 1998).

Vários trabalhos têm sido conduzidos objetivando determinar genótipos com melhores eficiências, a fim de se otimizar a adubação, aumentar produtividades e reduzir custos.

Nos dois experimentos, foi possível observar que o cultivar CVSW 80007 apresentou valores de eficiência de absorção de N significativamente inferiores aos demais, tanto em condições de baixa fertilização, como em de alta fertilização (Figura 38).

Marschner (1995) afirma que a nutrição de plantas pode ser diferente entre cultivares ou linhagens de uma mesma espécie, pois a mesma é controlada geneticamente.

A constatação da baixa eficiência de absorção de N pelo cultivar CVSW 80007 (Figura 38) corrobora os resultados de produtividade de colmos e rendimento de etanol no experimento de Orindiúva para todas as doses de N e, no experimento de Uchoa, para doses até 80 kg ha⁻¹ do nutriente (Figuras 21 e 29),

sugerindo que esta variável pode ser um dos motivos para os baixos rendimentos apresentados deste cultivar.

Em Orindiúva, a sequência decrescente dos valores de eficiência de absorção de N nos cultivares testados foi CVW 80147 = CVW 82158 = CVW 82028 > CVSW 80007 e, em Uchoa, foi CVW 82158 > CVW 82028 > CVW 80147 > CVSW 80007 (Tabelas 19 e 20), podendo-se concluir que o cultivar CVSW 80007 não é um bom exemplar para sua utilização em melhoramentos genéticos visando o aumento desta eficiência nutricional.

Quanto as estratégias e modos de aplicação de nitrogênio nos mesmos cultivares de sorgo sacarino, dispostos no **Experimento 3** (Figura 39), foi possível observar que mantiveram os mesmos níveis do experimento de Uchoa, quando comparados com a dose total de 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 38), isto porque os dois experimentos foram plantados próximos, no mesmo tipo de solo (ARGISSOLO VERMELHO AMARELO), receberam a mesma quantidade de chuvas (Figura 1) e adubação e foram colhidos no mesmo dia.

Ainda comentando os tipos de solo, observou-se que no ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico a cultura do sorgo sacarino apresentou melhores resultados de eficiência de absorção de N que o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico, podendo ser também um bom indicador na escolha da área de produção.

Em Orindiúva, observou-se que os cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram os valores 2,8, 4,9, 4,5 e 4,2 kg kg⁻¹ respectivamente para eficiência de absorção de nitrogênio quando da aplicação da menor dose de N (40 kg ha⁻¹) e 1,3, 1,5, 2,0 e 1,7 kg kg⁻¹ para a maior dose (160 kg ha⁻¹) (Figura 38).

Do mesmo modo, o experimento de Uchoa apresentou 6,1, 7,5, 9,3 e 8,8 kg kg⁻¹ para a menor e 2,0 2,6, 2,4 e 2,4 para a maior dose de N, respectivamente para os cultivares CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028 e o **Experimento 3**, como não se variou doses, todos os valores ficaram entre 2,0 e 4,5 kg kg⁻¹ (Figura 38).

Moll et al. (1982) e Peoples et al. (1995) sugerem que metade do nitrogênio acumulado na planta é proveniente da mineralização do N do solo, ou seja, N_t é aproximadamente $2 N_a$.

A dinâmica do nitrogênio no solo e conseqüentemente sua mineralização é muito variável em função de diversos fatores, tais como teor de N, relação C/N (MANTOVANI et al., 2006), textura do solo (HEBERT et al., 1991), pH, condutividade elétrica (TISDALE et al., 1985), entres outros, além da adubação nitrogenada que normalmente ocorre nas culturas comerciais de sorgo.

Observa-se portanto, que a variável eficiência de absorção pode ser muito dependente da dose do nitrogênio aplicada, da capacidade de mineralização do nutriente do solo e das características genéticas da planta.

Diante do exposto, não parece ser adequada a quantificação percentual do N acumulado em função do N aplicado, uma vez que esta dinâmica do nutriente no solo pode influenciar estes valores, porém, o conhecimento da eficiência de absorção, associada ao bom manejo da adubação, pode colaborar na redução dos custos nutricionais da cultura.

5.7.2. Eficiência de utilização de N

Observou-se que os cultivares de sorgo sacarino do experimento de Orindiúva não apresentaram diferenças significativas para eficiência de utilização de nitrogênio, as menores doses do nutriente proporcionaram maiores valores desta variável e não houve interação significativa entre os fatores (Tabela 19).

No experimento instalado em Uchoa foi verificado que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82158 não tiveram seus valores de eficiência de utilização de N afetados e os cultivares CVW 80147 e CVW 82028 apresentaram ajustes quadráticos em função das doses do nutriente aplicadas (Figura 40).

No **Experimento 3**, o cultivar CVSW 80007 se destacou dos demais e a estratégia E3, com 20 kg ha^{-1} de N na sementeira e 100 kg ha^{-1} em V4-V5, e modo de aplicação de N a lanço proporcionaram os maiores resultados para eficiência de

utilização do nutriente. Verificou-se também interação significativa entre os fatores (Tabela 21).

eficiência de utilização de N no **Experimento 3**, verificou-se que o cultivar CVSW 80007 se destacou dos demais em todas as estratégias de adubação nitrogenada adotadas e, dentro de CVSW 80007, a estratégia E1 obteve os maiores e E4 os menores valores. Observou-se também que não houve diferenças estatísticas entre as estratégias de adubação dentro do cultivar CVW 80147, que no CVW 82158, as estratégias E2 e E3 se destacaram e, em CVW 82028, as estratégias E1 e E3 apresentaram resultados superiores as demais (Figura 41).

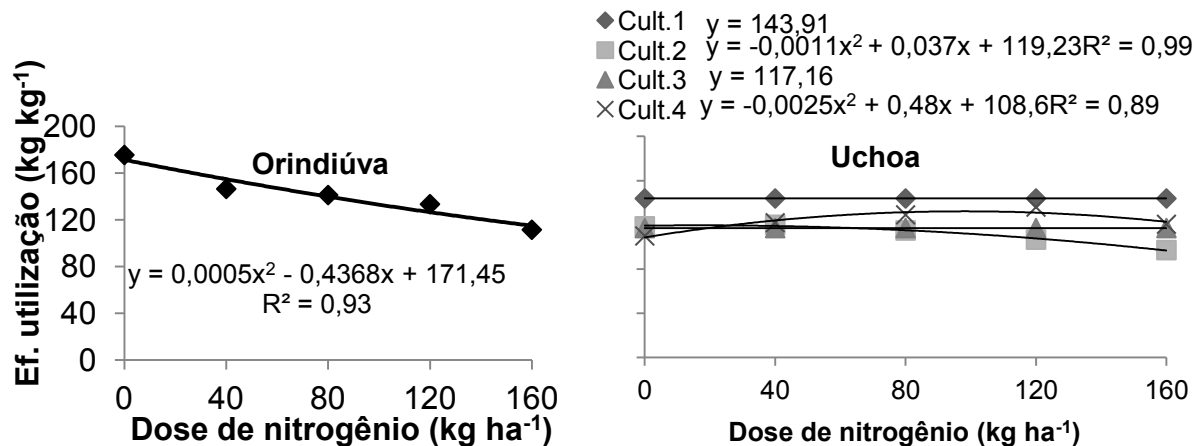


Figura 40: Eficiência de utilização de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

As testemunhas dos cultivares de sorgo sacarino apresentaram diferenças significativas entre si, onde CVSW 80007 obteve os maiores valores para eficiência de utilização de N (Tabela 21).

Verificou-se também que, apenas para o cultivar CVW 80147, a aplicação a lanço proporcionou resultados significativamente maiores que a aplicação no sulco e, para as estratégias E1 e E2, o melhor modo de aplicação foi no sulco de plantio, enquanto que, para a estratégia E3, foi a lanço e, para a estratégia E4, não houve diferenças significativas quanto ao modo de aplicação de nitrogênio (Figura 41).

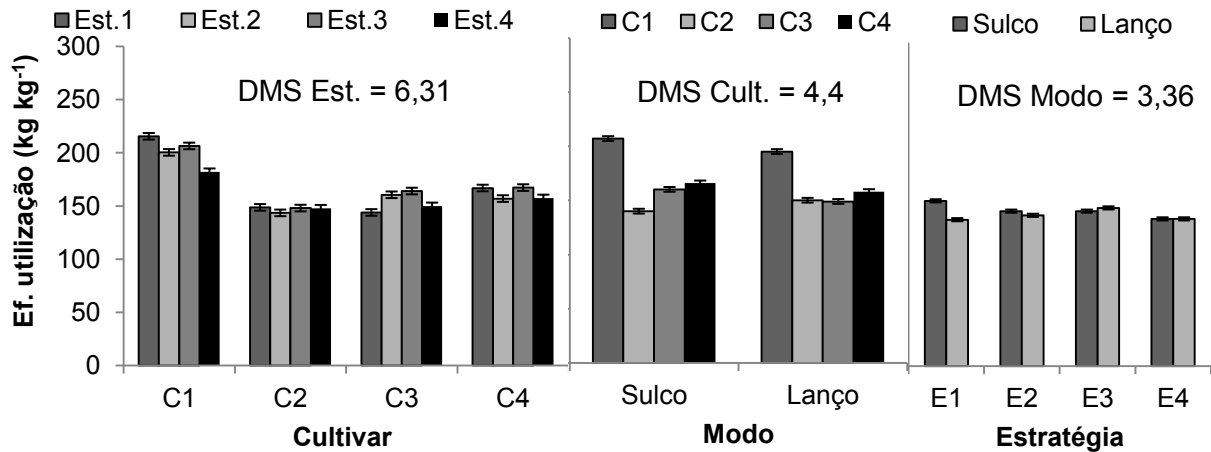


Figura 41: Eficiência de utilização de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e suas testemunhas e estratégias e modos de aplicação de nitrogênio. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Eficiência de utilização do nitrogênio em sorgo sacarino, expressa em kg kg^{-1} , g g^{-1} ou mg mg^{-1} , é dada pela expressão PC/N_t (MOLL et al., 1982), onde PC significa produtividade de colmos em kg de N por hectare e N_t , a quantidade total de nitrogênio acumulada na parte aérea da planta.

Segundo Moll et al. (1982) e Sanford e Mackown (1986), a eficiência de utilização de nutriente, definida por Oliveira et al. (2013) como a capacidade interna da planta em produzir grãos ou biomassa por unidade de nutriente, é mais importante que a eficiência de absorção, porém Moll et al. (1982) alertam que, para o desenvolvimento de genótipos para situações de estresse nutricional, é importante considerar as duas eficiências, uma vez que ambas as características devem ser incorporadas para aumentar a eficiência nutricional da cultura.

É importante salientar que, para determinação desta variável leva-se em consideração a produtividade da cultura e a quantidade do nutriente acumulada na planta, portanto os valores encontrados podem inferir interpretações distintas dos resultados.

Observa-se no experimento de Uchoa que o cultivar CVSW 80007 apresenta resultados superiores aos demais, seguido de CVW 82028, quando da aplicação de doses de nitrogênio igual ou superiores a 40 kg ha^{-1} (Figura 40), porém, quando analisa-se os gráficos de acúmulo do nutriente na parte aérea da planta (Figura 10) e produtividade da cultura (Figura 21), percebe-se que, nos dois casos, o cultivar CVSW 80007 possui valores inferiores a CVW 82028, principalmente o acumulado

de nitrogênio. Leva-se a crer portanto, que é possível que os valores de eficiência de utilização de N destacados em CVSW 80007 sejam provenientes das baixas concentrações do nutriente na parte aérea da planta, enquanto que, CVW 82028 tenha se sobressaído dos outros em função das melhores produtividades

Neste trabalho foi possível observar que, no experimento de Orindiúva, os cultivares de sorgo sacarino não apresentaram diferenças significativas nos valores de eficiência de utilização de N (Figura 40), semelhante aos resultados de Oliveira et al. (2013) em situação de alto teor de N e Machado et al. (2001) em situações de alto e baixo teor do nutriente em milho, porém as doses de nitrogênio promoveram alterações, com tendência quadrática decrescente, concordando com resultados de Bridgham (1995), Silva et al. (1996) e Lupatini (1996).

A diminuição dos valores de eficiência de utilização, em função do aumento das doses de nitrogênio pode estar ligado ao aumento da disponibilidade do nutriente no substrato, fazendo com que o incremento da produção de biomassa não ocorra na mesma proporção da absorção e do acúmulo de N nos tecidos (SIDDIQI e GLASS, 1981).

Já, em Uchoa, os cultivares de sorgo sacarino apresentaram resultados diferentes para esta variável, com diferenças significativas entre os genótipos de sorgo sacarino e também na interação com as doses de nitrogênio (Figura 40).

Asher e Loneragan (1967) e Clark (1981), em estudos feitos com fósforo, destacam que as espécies e variedades de plantas podem variar seus comportamentos quanto à habilidade de absorver e utilizar nutrientes, como ocorrido neste trabalho no experimento de Orindiúva.

Thiraporn et al. (1987) e Eghball e Maranville (1991) apresentam resultados distintos nos valores de eficiência nutricional quando no estudo de nitrogênio em milho e destacam a importância do estudo da eficiência de absorção e utilização em ambientes com e sem deficiência do nutriente.

5.7.3. Eficiência de uso de N

O experimento de Orindiúva apresentou diferenças significativas nos resultados de eficiência de uso de nitrogênio para cultivares de sorgo sacarino, onde

CVW 82028 > CVW 82158 > CVW 80147 > CVSW 80007 e também para doses aplicadas de N, com interação significativa entre os fatores (Tabela 19).

Da mesma forma, em Uchoa, observou-se que CVW 82158 > CVW 82028 > CVSW 80007 > CVW 80147 para esta variável, assim como, as doses de N. Houve interação significativa entre os fatores (Tabela 20).

A Figura 42 apresenta ajustes semelhantes para eficiência de uso de nitrogênio em sorgo sacarino nos dois experimentos, com os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 se sobressaindo significativamente aos cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 (Figura 42).

Seguindo os mesmos resultados dos experimentos de Orindiúva e Uchoa, no **Experimento 3** observou-se uma superioridade dos cultivares CVW 82158 e CVW 82028 em relação a CVSW 80007 e CVW 80147, quanto à eficiência de uso de nitrogênio pelo sorgo sacarino (Tabela 21).

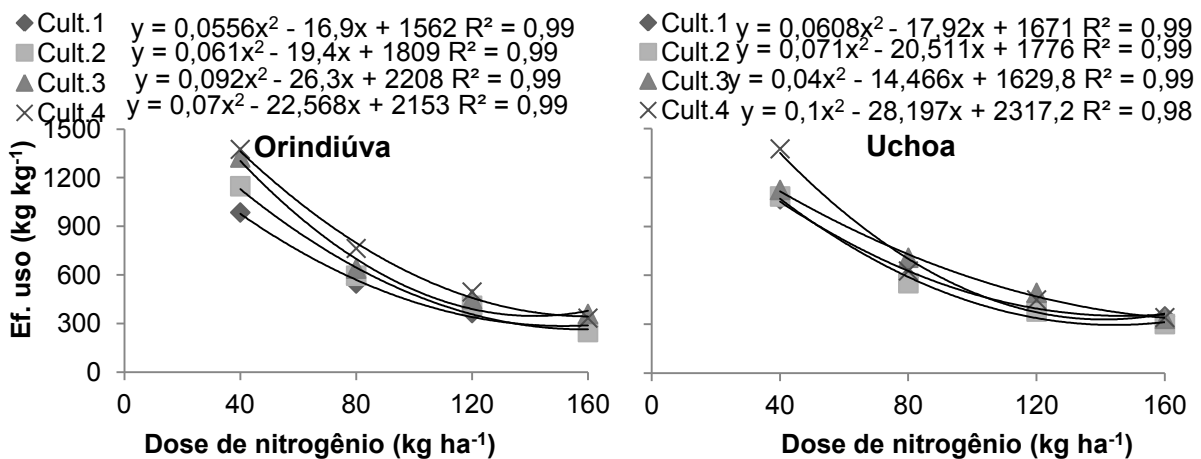


Figura 42: Eficiência de uso de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

As estratégias de aplicação de nitrogênio proporcionaram diferenças significativas para esta variável em ordem decrescente, onde CVW 82158 > CVW 82028 > CVW 80147 = CVSW 80007 e, com a aplicação a lanço se destacando em relação à aplicação no sulco de plantio. Observou-se também interação significativa entre os fatores (Tabela 21).

Para os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028, o parcelamento máximo do nitrogênio proporcionou resultados maiores para eficiência de uso de N, para o

cultivar CVW 80147 a estratégia E3 demonstrou resultados melhores e, para o cultivar CVW 82158, as estratégias de aplicação de nitrogênio não apresentaram diferenças significativas (Figura 43).

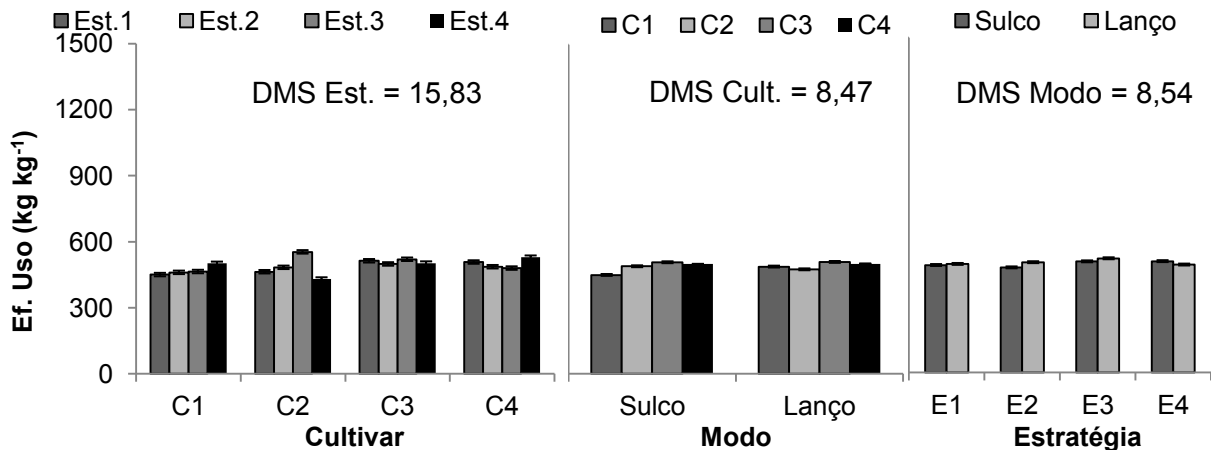


Figura 43: Eficiência de uso de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Tanto nas aplicações a lanço como nas no sulco de plantio, os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 se destacaram, com resultados significativamente superiores, comparados aos cultivares CVSW 80007 e CVW 80147, porém o estudo de regressão mostrou que, para as estratégias E2 e E3, a aplicação a lanço proporcionou melhores resultados, para a estratégia E4, a aplicação de N no sulco de plantio foi melhor e, para a estratégia E1, os modos de aplicação do nutriente não promoveram diferenças significativas (Figura 43).

O modelo para determinação da eficiência de uso, proposto por Moll et al. (1982), foi definido como a produtividade de grãos por unidade de nutriente aplicado, porém, como a cultura utilizada neste trabalho foi o sorgo sacarino, com o objetivo de se determinar o rendimento de etanol, adotou-se para eficiência de uso de N, como sendo a produtividade de colmos por unidade de N (N_a) aplicado, expressa em kg kg^{-1} , g g^{-1} ou mg mg^{-1} e dada pela expressão PC/N_a

Machado et al. (2001) apontam que a eficiência de uso do nitrogênio está intimamente ligada ao processo metabólico das plantas, envolvendo as sínteses de proteína. Os autores destacam que a produção de proteína inicia-se com a assimilação de NH_4^+ , por meio da glutamina sintetase e glutamato sintase e, essas

reações, são altamente dependentes do nutriente. Essas afirmações são comprovadas por Mccullough et al. (1994) e Uhart e Andrade (1995b) que destacam que as variações na disponibilidade de N pode afetar o desenvolvimento e produtividade das plantas.

Recentes pesquisas apontam a eficiência do uso de N em milho como uma ferramenta para detectar variações genéticas e selecionar novos genótipos que mostrem aumento ou diminuição da atividade metabólica envolvida nas vias de assimilação de N (HIREL et al., 2001).

Neste trabalho, observou-se diminuições dos valores da eficiência de uso em função do aumento das doses de nitrogênio (Figura 42), fato este, também encontrado por Fernandes et al. (2005), que destacam que, no milho, esta redução pode estar relacionado à dose exceder as necessidades das plantas, aumentando as perdas por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato (FARINELLI e LEMOS, 2010).

Observou-se que as maiores produtividades de colmos, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa, foram conseguidas quando as eficiências de uso de nitrogênio estavam mais baixas (Figuras 44), semelhante aos resultados de Fernandes et al. (2005) e Sant'Ana et al. (2011).

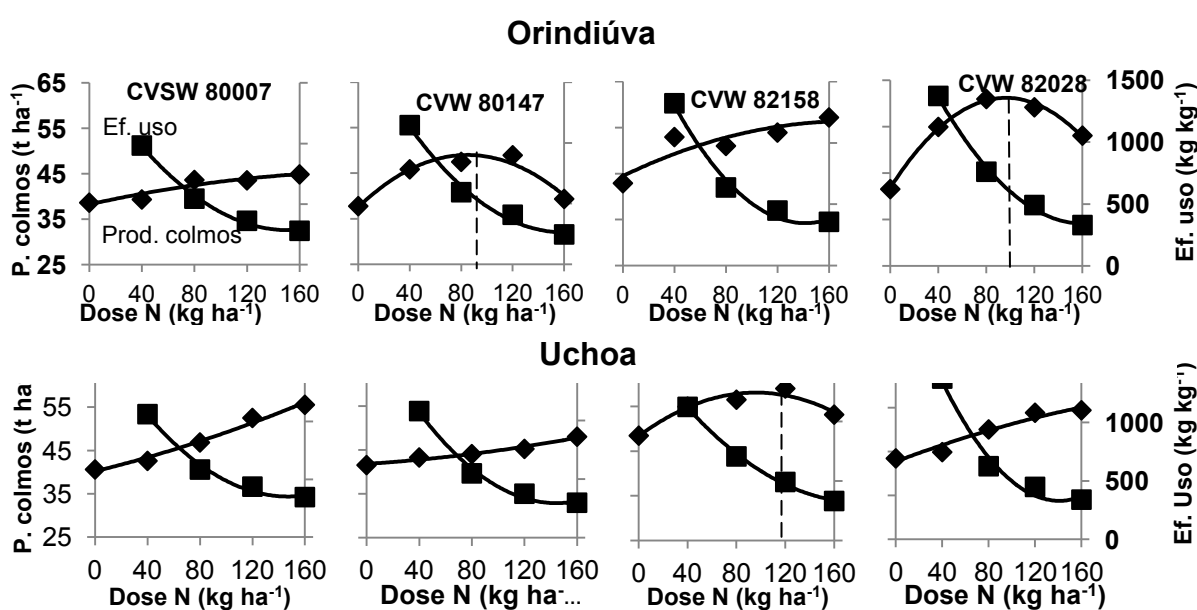


Figura 44: Produtividade colmos e eficiência de uso de N em sorgo sacarino, em função dos cultivares e doses de nitrogênio

Este fato pode ser explicado pela lei dos incrementos decrescentes, pois o aumento das doses de nitrogênio promove os menores incrementos de produtividade, devido à diminuição da necessidade da cultura. A diminuição da eficiência do uso de N, em função das doses adotadas de N pode contribuir para perdas significativas do nutriente por lixiviação ou volatilização.

Observou-se na Figura 44, que, em todos os cultivares avaliados de sorgo sacarino, as eficiências de uso de nitrogênio seguiram a mesma tendência, onde a menor dose aplicada do nutriente proporcionou maiores valores para esta variável, sugerindo a necessidade de maiores estudos, com o objetivo de se incrementar as produtividades, por meio da maior contribuição da eficiência de uso deste nutriente.

5.7.4. Eficiência de translocação de N

No estudo de eficiência de translocação de N, observou-se que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram valores semelhantes, porém significativamente maiores que CVW 80147 e CVW 82158, nos experimentos de Orindiúva e Uchoa e que, as doses de nitrogênio promoveram diferenças significativas desta variável. Observou-se também interação significativa entre os fatores (Tabela 19 e 20).

Analisando a interação dos cultivares de sorgo sacarino e doses de nitrogênio, foi possível verificar que os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028 se sobressaíram significativamente em relação aos demais, para eficiência de translocação do nutriente, nos dois experimentos, deixando, o cultivar CVW 80147 na última colocação (Figura 45).

Unificando a dose do **Experimento 3** para 120 kg ha^{-1} de N, verificou-se que os valores de eficiência de translocação do nutriente foram significativamente diferentes para os cultivares de sorgo sacarino estudados, as estratégicas e modos de aplicação de nitrogênio e testemunhas, onde $\text{CVSW 80007} > \text{CVW 82028} > \text{CVW 80147} = \text{CVW 82158}$, $\text{E2} > \text{E3} = \text{E4} > \text{E1}$, aplicação no sulco de plantio maior que aplicação a lanço e $\text{T4} = \text{T3} > \text{T1} > \text{T2}$ (Tabela 21) , além da significativa interação entre os fatores.

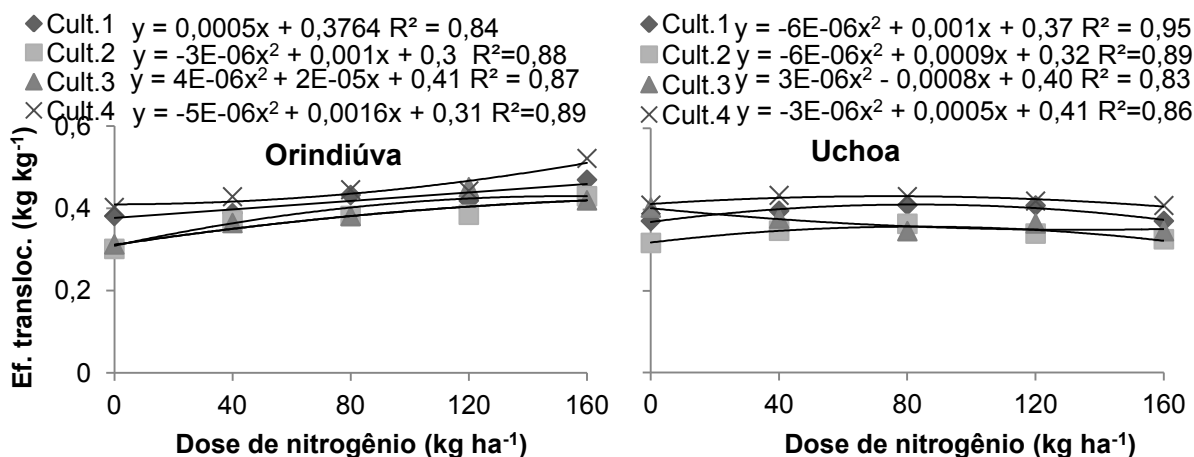


Figura 45: Eficiência de translocação de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Verificou-se também que a estratégia E1 apresentou resultados significativamente superiores para o cultivar CVSW 80007, a estratégia E4 para o cultivar CVW 80147, as estratégias E2 e E3 para o cultivar CVW 82158 e a estratégia E2 para o cultivar CVW 82028 (Figura 46).

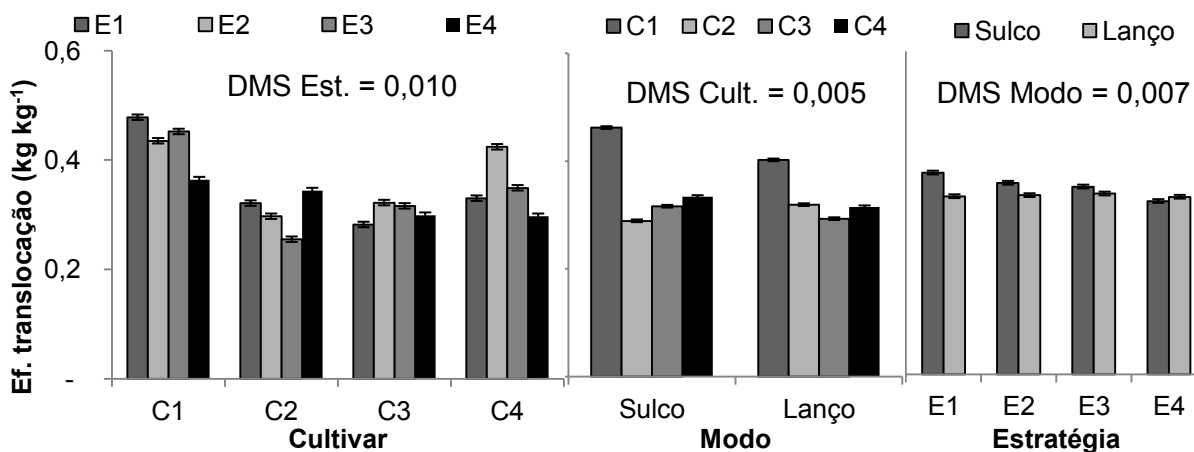


Figura 46: Eficiência de translocação de N, em função de cultivares de sorgo sacarino e testemunhas e estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Também no estudo das interações, foi possível observar que os modos de aplicação de nitrogênio proporcionaram diferenças significativas nos valores de eficiência de translocação do nutriente dentro dos cultivares de sorgo, com ênfase

para o cultivar CVSW 80007, enquanto que as estratégias E1, E2 e E3, obtiveram maiores resultados com aplicação de N no sulco de plantio (Figura 46).

A literatura apresenta duas versões para eficiência de translocação: a primeira adota a quantificação do nutriente transportado para a parte aérea da planta (NEVES et al., 2005) , enquanto que, a segunda, exprime a quantidade de nutriente redistribuído para a parte definitiva da planta (GIULIANI et al., 2011).

Adotou-se neste trabalho, para eficiência de translocação de N, a metodologia proposta por Moll et al. (1982), dada pela expressão N_c/N_t , onde N_c é a quantidade de nitrogênio acumulada no colmo no momento do corte e N_t é o total do nutriente acumulado na parte aérea da planta. A unidade normalmente utilizada para eficiência de translocação é kg kg^{-1} , g g^{-1} ou mg mg^{-1} .

Apenas alguns órgãos, como por exemplo as folhas, passam de dreno para fonte (TAIZ e ZEIGER, 1991; HOPKINS, 1995) e, esses mecanismos de transporte também são responsáveis pela eficiência de translocação de nutrientes dentro das plantas.

Diante dos resultados é possível afirmar que o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais, para esta variável, em função das doses de nitrogênio aplicadas, enquanto que, o cultivar CVSW 80007 obteve maiores resultados quando em interação com as estratégias e modos de aplicação deste nutriente (Figuras 45 e 46).

Esta informação é de extrema importância, uma vez que muitos materiais e cultivares podem ser identificados com melhores eficiências de translocação de nutrientes e utilizados em melhoramentos genéticos, contribuindo para o aumento de produtividades (LAL et al., 1978).

Muurinen et al. (2007) destacam que o trigo apresenta maior eficiência de translocação de nitrogênio do que aveia e cevada, enquanto que Samonte et al. (2006) afirmam que a eficiência de translocação apresenta correlação positiva com a concentração de proteínas.

Portanto, o estudo das ações do nitrogênio e sua translocação nas plantas, é de fundamental importância na destinação final do nutriente, podendo alterar a produção de assimilados e sua alocação nas diferentes partes da planta. (CRUZ, 2001).

Giuliani et al. (2011) observaram redução da eficiência de translocação de N em trigo quando em situação de deficiência hídrica e Tomaz et al. (2003) verificaram a baixa translocação de cálcio em combinação de enxertia em café, reforçando a afirmativa de baixa mobilidade do nutriente no floema.

5.7.5. Eficiência agrônômica de N

Observou-se no experimento de Orindiúva que os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram valores de eficiências agrônômicas de N significativamente superiores aos demais, que as doses do nutriente aplicadas proporcionaram resultados decrescentes para esta variável e que houve interação significativa entre os fatores (Tabela 19).

Os valores apresentados pelos cultivares do **Experimento 2** também foram significativamente diferentes, na ordem decrescente CVW 82158 > CVSW 80007 > CVW 82028 > CVW 80147, as menores doses aplicadas de N, 40 e 80 kg ha⁻¹, promoveram os maiores valores para eficiência agrônômica de nitrogênio e houve interação significativa entre os fatores (Tabela 20).

Pôde-se observar que, nos dois experimentos, todos os cultivares apresentaram ajustes decrescentes, em função das doses de nitrogênio, onde, em Orindiúva, o cultivar CVW 82028 obteve os maiores valores de eficiência agrônômica, para todas as doses e, em Uchoa, CVW 82158 se destacou até a aplicação de 116 kg ha⁻¹, sendo posteriormente ultrapassado por CVW 82028 (Figura 47).

Da mesma forma, CVSW 80007 apresentou os valores significativamente mais baixos de eficiência agrônômica de N, em Orindiúva, sendo ultrapassado por CVW 80147, quando da aplicação de 147 kg ha⁻¹ de nitrogênio. No experimento de Uchoa, CVW 80147 também apresentou resultados inferiores aos demais aplicando-se até 154 kg ha⁻¹, sendo, após esta dose, ultrapassado por CVW 82158 (Figura 47).

No **Experimento 3**, observou-se que os cultivares CVSW 80007, CVW 80147 e CVW 82158 apresentaram resultados semelhantes para eficiência agrônômica de

N, sendo superiores estatisticamente a CVW 82028. Verificou-se também que, para estratégias de aplicação de nitrogênio, E3 apresentou os maiores resultados, seguido de E4>E2=E1, a aplicação a lanço proporcionou valores significativamente superiores à aplicação no sulco de plantio e que houve interação significativa entre os fatores (Tabela 21).

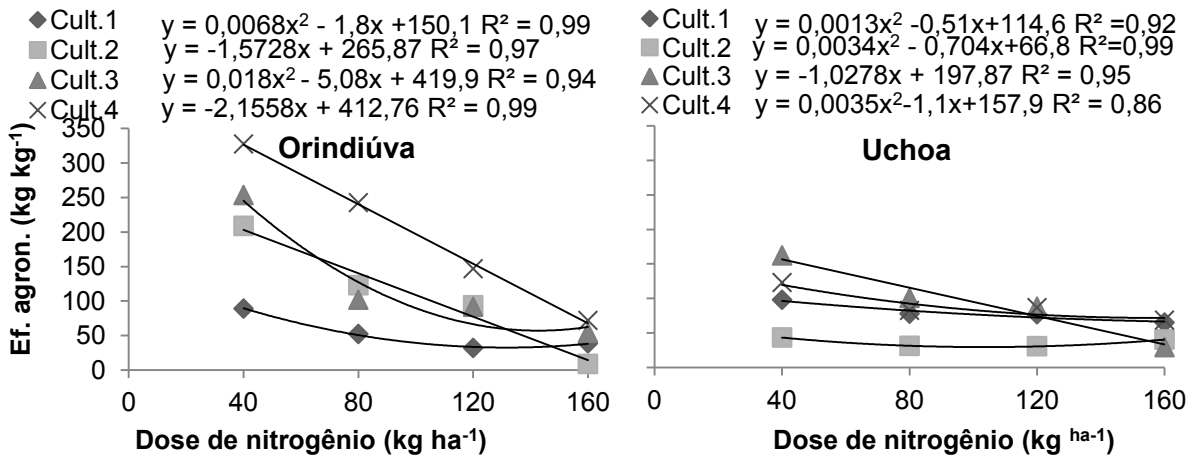


Figura 47: Eficiência agrônômica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Verificou-se também que, para os cultivares CVSW 80007 e CVW 82028, a melhor estratégia de aplicação de nitrogênio foi com o maior parcelamento do nutriente, para o cultivar CVW 80147, as estratégias E2 e E3 e, para o cultivar CVW 82158, as estratégias E1 e E3 (Figura 48).

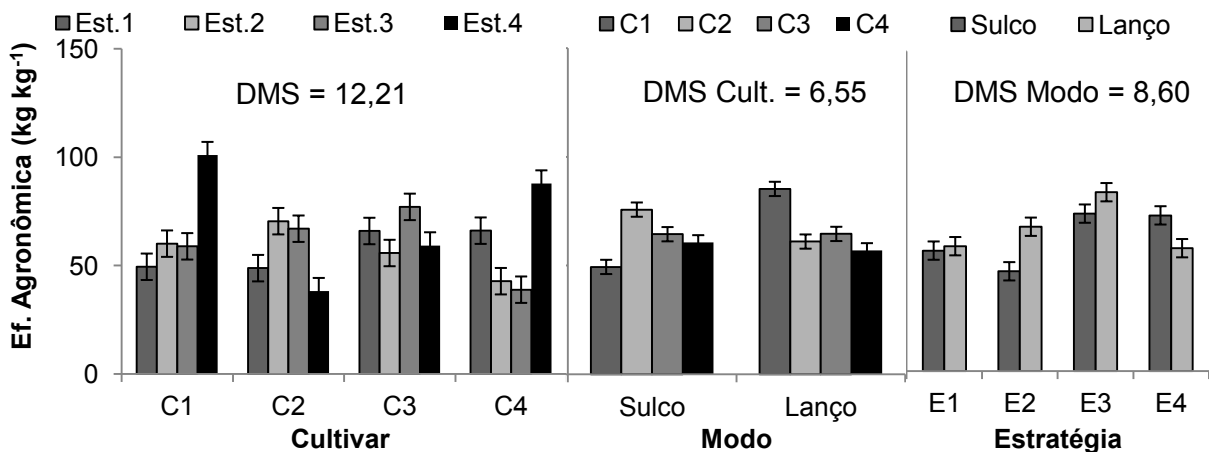


Figura 48: Eficiência agrônômica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

A aplicação de nitrogênio no sulco de plantio obteve maiores resultados para eficiência agrônômica de N no cultivar CVSW 80007, a aplicação a lanço foi melhor para o cultivar CVW 80147 e, para os cultivares CVW 82158 e CVW 82028, o modo de aplicação não promoveu diferenças significativas (Figura 48).

A aplicação de todo nitrogênio no momento do plantio, não modificou os valores de eficiência agrônômica, em função do modo de aplicação do nutriente, enquanto que, para as estratégias E2 e E3, a aplicação a lanço obteve resultados significativamente superiores e, para a estratégia E4, a aplicação no sulco promoveu melhores resultados (Figura 48).

A eficiência agrônômica, também chamada de eficiência econômica, é dada por $(PC_c - PC_s)/N_a$ (FAGERIA, 1998), em que PC_c e PC_s representam as produtividades de colmos com e sem a aplicação de nitrogênio respectivamente e N_a é a dose do nutriente aplicada. Eficiência agrônômica pode ser expressa em $kg\ kg^{-1}$, $g\ g^{-1}$ ou $mg\ mg^{-1}$.

Muitas vezes este parâmetro é apresentado em comparativos de produtividades (FARINELLI e LEMOS, 2010) ou comparativos com outras fontes de nutrientes (SOUSA et al., 2008) e, embora tenham sido observados aumentos significativos na produção de colmos, em função do aumento das doses de nitrogênio (Figura 21), as eficiências agrônômicas de N dos cultivares de sorgo sacarino estudados, decresceram significativamente em função dos tratamentos (Figura 47), pois, após o abastecimento mínimo do nutriente, o ganho de produtividade não acompanhou proporcionalmente a quantidade de nitrogênio fornecida, fenômeno este conhecido por lei dos incrementos decrescentes.

Resultados semelhantes, com diminuição nos valores de eficiência agrônômica, foram observados por Singh e Shivay (2003), em estudos com doses nitrogênio, na forma de ureia, aplicadas em arroz e por Sant'ana et al. (2011) em feijão.

Como indicador de materiais para melhoramento de plantas, percebeu-se que o cultivar CVW 82028 se destacou no experimento instalado em Orindiúva, com valores significativamente superiores aos demais quando da situação de baixa e alta oferta de nitrogênio (Figura 47).

Em Uchoa, no entanto, CVW 82158 assumiu a posição de melhor cultivar para eficiência agrônômica de N, em situação de baixa oferta do nutriente, perdendo a posição para CVW 82028, somente quando houve aplicação de doses superiores a 116 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 47).

Observou-se ainda que, exceto para o cultivar CVSW 80007, todos os cultivares apresentaram resultados superiores no experimento de Orindiúva, ou seja, a área de LATOSSOLO demonstrou melhor resposta para adubação nitrogenada, na maioria dos cultivares de sorgo sacarino, para eficiência agrônômica de nitrogênio (Figura 47).

5.7.6. Eficiência fisiológica de N

O experimento de Orindiúva apresentou resultados significativamente diferentes de eficiência fisiológica de N para cultivares de sorgo sacarino e doses de nitrogênio, onde $\text{CVW 82158} = \text{CVW 82028} > \text{CVSW 80007} = \text{CVW 80147}$ e $40 > 80 > 120 > 160 \text{ kg ha}^{-1}$. Observou-se também interação significativa entre os fatores (Tabela 19).

Em Uchoa, a sequência decrescente dos valores de eficiência fisiológica de N ocorreu com $\text{CVW 82158} > \text{CVW 82028} > \text{CVSW 80007} = \text{CVW 80147}$ e, as doses de nitrogênio proporcionaram diferenças significativas, em que $40 = 80 = 120 > 160 \text{ kg ha}^{-1}$. Também foi observada interação significativa entre os fatores (Tabela 20).

Observou-se, nos dois experimentos, que os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram resultados superiores estatisticamente aos demais, para eficiência fisiológica de nitrogênio (Figura 49).

Quando da unificação da dose de nitrogênio em 120 kg ha^{-1} no **Experimento 3**, observou-se que o cultivar CVW 82028 se destacou significativamente dos demais, que a estratégia E3 e a aplicação do nutriente no sulco de plantio proporcionaram os melhores resultados e que houve interação significativa entre os fatores (Tabela 21).

A interação entre cultivares de sorgo sacarino e estratégia de aplicação de N promoveu diferenças apenas para o cultivar CVW 82028, onde a estratégia E3 apresentou resultados significativamente superiores a E4 (Figura 50).

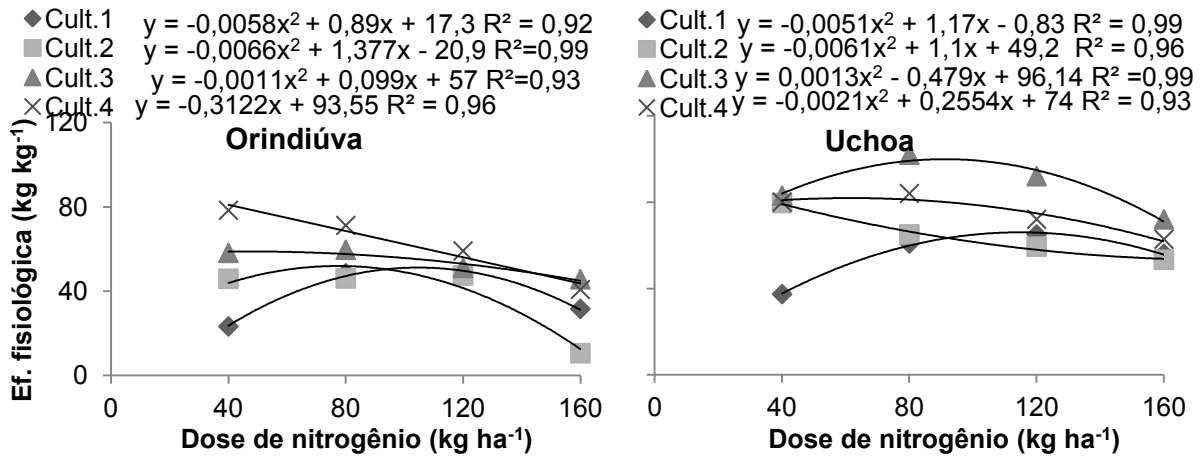


Figura 49: Eficiência fisiológica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

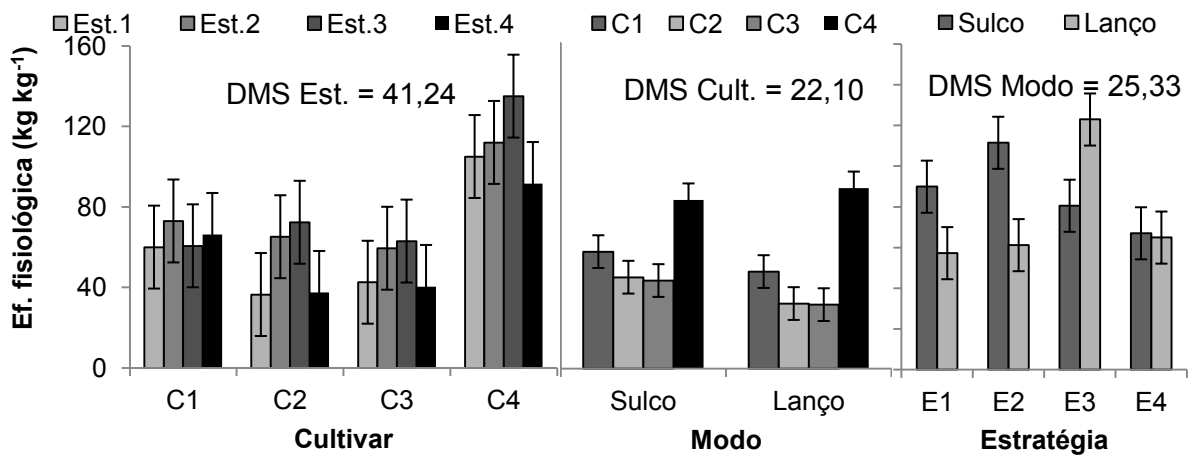


Figura 50: Eficiência fisiológica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Da mesma forma, o cultivar CVW 82028 se destacou dos demais, tanto na aplicação no sulco como na aplicação a lanço do nitrogênio e, as estratégias E1 e E2 obtiveram maiores resultados de eficiência fisiológica de N quando da aplicação no sulco, a estratégia E3 para aplicação a lanço e, a E4, indiferente ao modo de aplicação (Figura 50).

A eficiência fisiológica é definida como o ganho da produção biológica ou biomassa, obtida pela expressão $(MS_c - MS_s)/(N_{tc} - N_{ts})$ (FAGERIA, 1998), onde MS_c e MS_s correspondem à massa da matéria seca com e sem adubação nitrogenada respectivamente e, N_{tc} e N_{ts} , é a quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea com e sem adubação. Eficiência fisiológica é dada em $kg\ kg^{-1}$, $g\ g^{-1}$ ou $mg\ mg^{-1}$.

O estudo desta variável para o sorgo sacarino tem muita importância na identificação de materiais, para fins de melhoramento, sobretudo quando se usa esta cultura para alimentação animal, uma vez que seu potencial de produção de biomassa é alto, quando comparado ao de outras espécies forrageiras.

Sant'ana et al. (2011) observaram diminuição significativa da eficiência fisiológica de N no feijão em função da aplicação de doses crescentes do nutriente.

O aumento da massa da matéria seca total, em função das doses de nitrogênio, apresentado nas Figura 19, referente ao experimento de Orindiúva, explica a tendência observada nos quatro materiais de sorgo, para avaliação da eficiência fisiológica de N, colocando os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 nas primeiras posições (Figura 49).

Com estas observações, é possível afirmar que o aumento do porte das plantas, do número de nós e do diâmetro dos caules dos materiais estudados, promovidos pela adição de nitrogênio, podem ter contribuído para o aumento das massas das matérias secas do sorgo sacarino e, esta contribuição, pode ter influenciado a eficiência fisiológica de N pela cultura do sorgo sacarino.

5.7.7. Eficiência agrofisiológica de N

Verificou-se no experimento de Orindiúva que, para eficiência agrofisiológica de N, os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram resultados semelhantes, diferenciando-se e sendo significativamente superiores de CVW 80147 e, finalmente de CVSW 80007, enquanto que, a aplicação de nitrogênio promoveu valores decrescentes para esta variável, na seguinte ordem das doses:

40>80>120>160 kg ha⁻¹. Observou-se também que houve interação significativa entre os fatores (Tabela 19).

Em Uchoa, o cultivar CVW 82158 se destacou dos demais, diferenciando significativamente os valores de eficiência agrofisiológica de N de CVSW 80007 e seguido de CVW 80147, que teve seus resultados semelhantes a CVW 82028. As doses de nitrogênio proporcionaram diferenças para está variável na seguinte ordem decrescente: 40>160>80=120 kg ha⁻¹. Da mesma forma do experimento anterior, o experimento de Uchoa apresentou interação significativa entre os fatores (Tabela 20).

No estudo das interações do experimento de Orindiúva, foi possível observar para eficiência agrofisiológica de N, que os cultivares CVW 82158 e CVW 82028 apresentaram valores superiores aos outros cultivares de sorgo sacarino, tanto em situação de alto fornecimento de N, como na de aplicação de baixas doses do nutriente. Os cultivares CVSW 80007 e CVW 80147 tiveram performances inferiores para esta variável (Figura 51).

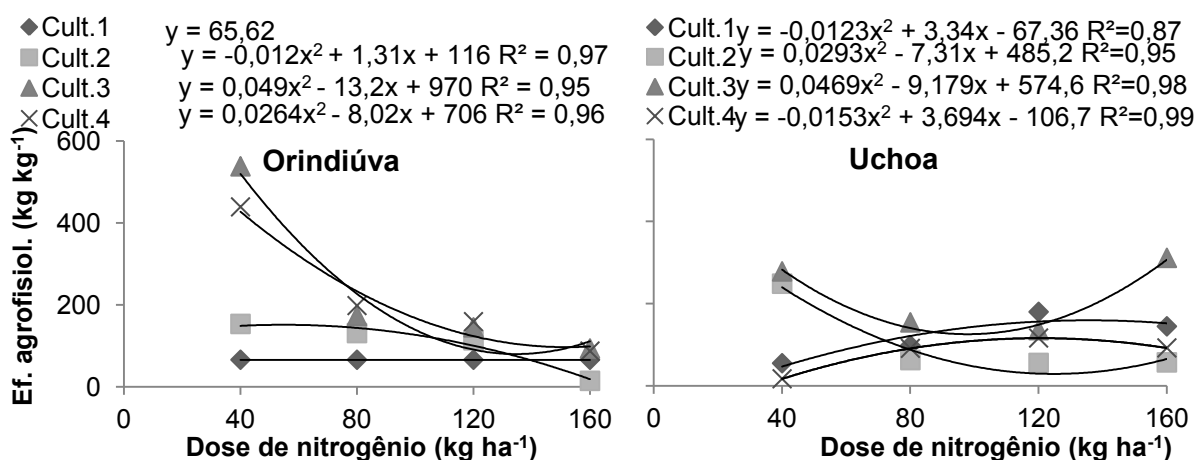


Figura 51: Eficiência agrofisiológica de N em sorgo sacarino, em função de cultivares e doses de nitrogênio. Os cultivares 1, 2, 3 e 4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

Em Uchoa, verificou-se que, para CVW 82158, os valores de eficiência agrofisiológica de N foram significativamente superiores aos demais, nas situações de baixo e alto fornecimento de nitrogênio. CVSW 80007 e CVW 82028 apresentaram aumentos nos seus resultados, enquanto CVW 80147 reduziu significativamente os seus, em função das doses do nutriente (Figura 51).

No **Experimento 3** verificou-se que os três fatores, cultivar, estratégia e modo de aplicação de nitrogênio, apresentaram diferenças significativas em seus valores de eficiência agrofisiológica de N e observou-se interação significativa entre eles (Tabela 21).

Para os cultivares de sorgo sacarino, CVW 82028 se destacou dos demais em eficiência agrofisiológica de N, seguido de CVSW 80007, que também apresentou resultados significativamente diferentes de CVW 80147, que foi semelhante a CVW 82158 (Tabela 21).

As estratégias de aplicação de N proporcionaram diferenças significativas em seus valores, na seguinte ordem de decrescente: E3>E1=E4>E2, enquanto que a aplicação a lanço se mostrou superior à aplicação do nutriente no sulco de plantio (Tabela 21).

No estudo das interações, verificou-se que, para eficiência agrofisiológica N, apenas o cultivar CVW 82028 apresentou diferenças significativas, destacando-se as estratégias E1 e E3 (Figura 52).

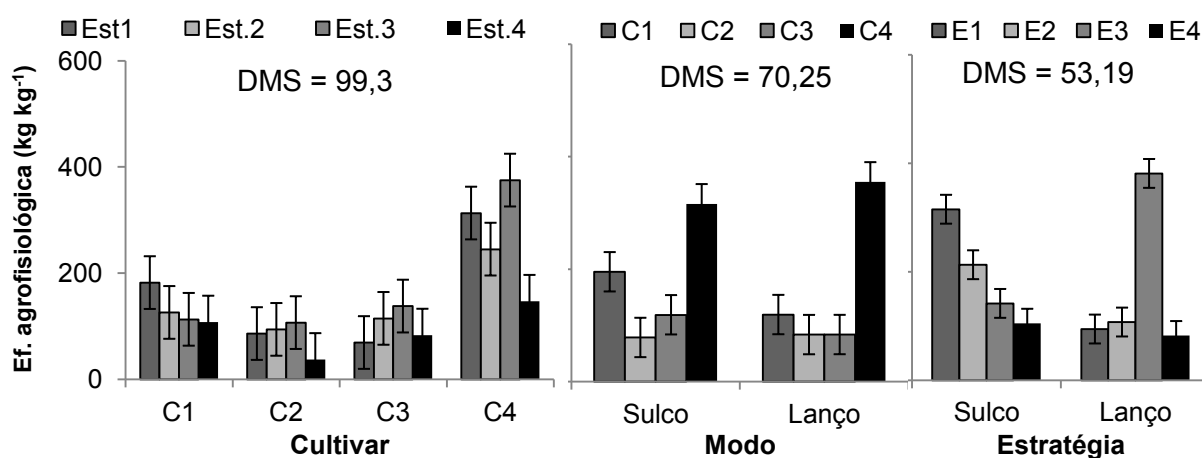


Figura 52: Eficiência agrofisiológica de N, em função de cultivares de sorgo sacarino, estratégias e modos de aplicação nitrogenada. C1, C2, C3 e C4 são respectivamente CVSW 80007, CVW 80147, CVW 82158 e CVW 82028

A aplicação do nitrogênio no sulco de plantio proporcionou maiores valores de eficiência agrofisiológica de N para o cultivar CVW 82028, seguido do CVSW 80007, enquanto que, a estratégia E1 se destacou das demais nesta modalidade de aplicação (Figura 52).

A aplicação nitrogenada a lanço, por sua vez, propiciou maiores resultados no cultivar CVW 82028, porém utilizando-se a estratégia E3, com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N no momento do plantio e 100 kg ha⁻¹ do nutriente em V4 – V5 (Figura 52).

A eficiência agrofisiológica, também denominada de eficiência de produção, é expressa por $(PC_c - PC_s)/(N_{tc} - N_{ts})$ (FAGERIA, 1998) e indica o ganho de produtividade de colmos por ganho no acúmulo de N na parte aérea da planta, com e sem aplicação nitrogenada, e é dada por kg kg⁻¹, g g⁻¹ ou mg mg⁻¹.

Neste estudo foi possível verificar que o cultivar CVW 82158 se destacou dos demais nas situações de baixo e alto fornecimento de nitrogênio, indicando ser um material responsivo para trabalhos de melhoramentos que visem o aumento da eficiência agrofisiológica de N na cultura do sorgo sacarino (Figura 51). SANT'ANA et al. (2011) não verificaram modificações nos valores de eficiência agrofisiológica de N em feijão, quando da aplicação de doses do nutriente até 240 kg ha⁻¹.

Fixando-se a dose de nitrogênio em 120 kg ha⁻¹, percebeu-se que o cultivar CVW 82028 apresentou resultados superiores aos demais, em função das estratégias de aplicação do nutriente, com ênfase em E3 e E1 e também em função do modo de aplicação, pois, os valores de eficiência agrofisiológica de N deste cultivar foram estatisticamente superiores aos outros, tanto na aplicação a lanço, como no sulco de plantio (Figura 52).

O cultivar CVSW 80007 não apresentou diferenças significativas nos valores de eficiência agrofisiológica, em função das doses de nitrogênio aplicadas no experimento de Orindiúva (Figura 51).

5.7.8. Regressões

Observou-se, de acordo com o estudo das regressões entre as diferentes eficiências nutricionais e produtividade de colmos, que as relações entre produtividade de colmos com as eficiências de absorção, de utilização, de uso e agrofisiológica não foram significativas (Tabela 22).

PAMPANA et al. (2013) apresentam seu trabalho com milho, afirmando que as maiores produtividades de grãos são conseguidas quando do maior índice de eficiência de absorção e utilização do nutriente.

A relação positiva entre produtividade de colmos e eficiência de translocação de nitrogênio (Tabela 22) pode ser explicada pelo acúmulo do nutriente no colmo do sorgo sacarino no momento da colheita, em função das doses de N, demonstrado na Figura 5.

Tabela 22: Equações de regressão de eficiências de absorção, de utilização, de uso, de translocação, agronômica, fisiológica e agrofisiológica, do sorgo sacarino, em função da produtividade de colmos.

Eficiência	TCH	
Absorção	NS	
Utilização	NS	
Uso	NS	
Translocação	$y = 0,246 + 0,0033 x$	$R^2 = 0,46^*$
Agronômica	$y = -236,469 + 7,181x$	$R^2 = 0,53^*$
Fisiológica	$y = -46,348 + 1,892x$	$R^2 = 0,76^{**}$
Agrofisiológica	NS	

* significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1 % de probabilidade, NS não significativo.

Este acúmulo de N no colmo, pode ter contribuído para o aumento da produtividade ($y = 37,85 + 0,131x$ $R^2 = 0,488^{**}$), portanto, uma boa translocação de nutriente pode promover seu maior acúmulo no órgão definitivo da planta e propiciar produtividades mais elevadas.

As eficiências agronômica e fisiológica também apresentaram orientação positiva no estudo de regressão com a produtividade (Tabela 22), devido ao fato desta produtividade estar correlacionada ao seu ganho efetivo de rendimento ($PC_c - PC_s$) ($y = 38,42 + 1,2x$ $R^2 = 0,959^{**}$) e também ao ganho da massa da matéria seca ($MS_c - MS_s$) ($y = 36,03 + 0,0022x$ $R^2 = 0,847^{**}$), propiciando as referidas relações.

Da mesma forma, observou-se que a eficiência de absorção de N do sorgo sacarino se relacionou positivamente com as eficiências de uso, agronômica e agrosifiológica de N (Figura 53).

Verificou-se relação positiva entre o nitrogênio acumulado total na planta (N_t) e produtividade de colmos ($y = 34,186 + 0,727x$ $R^2 = 0,532^{**}$) e, como as eficiências

de absorção e uso de N apresentam o mesmo denominador (N_a), esperava-se relação positiva entre estas eficiências nutricionais.

Como o acúmulo de N na massa da matéria seca da parte aérea (N_t) do sorgo sacarino apresentou relação positiva com o ganho de produtividade da cultura ($PC_c - PC_s$) ($y = -4,963 + 0,71x$ $R^2 = 0,721^{**}$), explica-se a relação positiva entre eficiências de absorção e agrônômica de N. Da mesma forma, as doses aplicadas de N (N_a) relacionou-se positivamente com o ganho no acúmulo de N na parte aérea da planta ($N_{tc} - N_{ts}$) ($y = 2,875 + 0,802x$ $R^2 = 0,946^{**}$), explicando a relação positiva observada entre eficiências de absorção e agrofisiológica de N na cultura do sorgo sacarino.

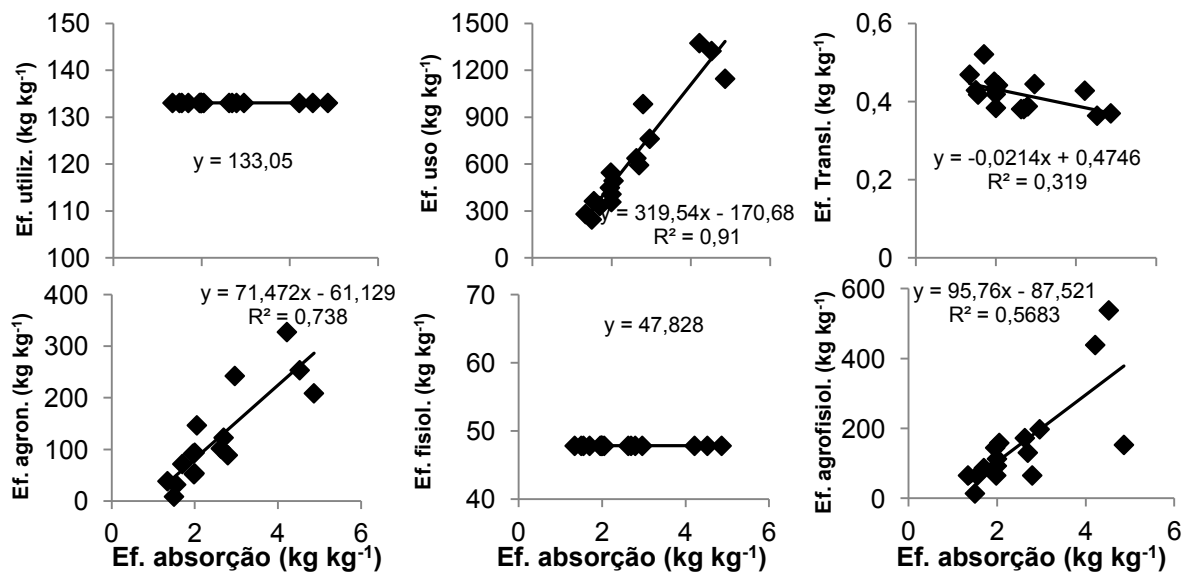


Figura 53: Regressões entre eficiência de absorção com de uso, de utilização, de translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino.

Verificou-se relação negativa entre eficiências de absorção e translocação de N no sorgo sacarino (Figura 53). Para explicar tal fato, o aumento das doses de N (N_a) promoveu incrementos no acúmulo de nitrogênio da parte aérea da planta (N_t) (Tabelas 5, 6 e 7), porém não na mesma proporção das doses aplicadas do nutriente.

A diminuição dos valores de eficiência de absorção de N, em função das doses de nitrogênio, está relacionada à dose aplicada do nutriente (N_a), pelo fato,

deste estar presente no denominador da equação e os incrementos de N_t não acompanharem proporcionalmente as quantidades aplicadas (N_a).

Por outro lado, existe uma relação significativa e positiva entre a quantidade de nitrogênio acumulado no colmo e em toda a planta ($y = 35,103 + 1,948x$ $R^2 = 0,876^{**}$), fazendo com que haja um aumento da eficiência de translocação em função das doses aplicadas de N (Figura 45).

A eficiência de absorção não relacionou-se significativamente com as eficiências de utilização e fisiológica de N na cultura do sorgo sacarino (Figura 53).

A eficiência de utilização de N no sorgo sacarino se relacionou negativamente com a eficiência de translocação do nutriente (Figura 54).

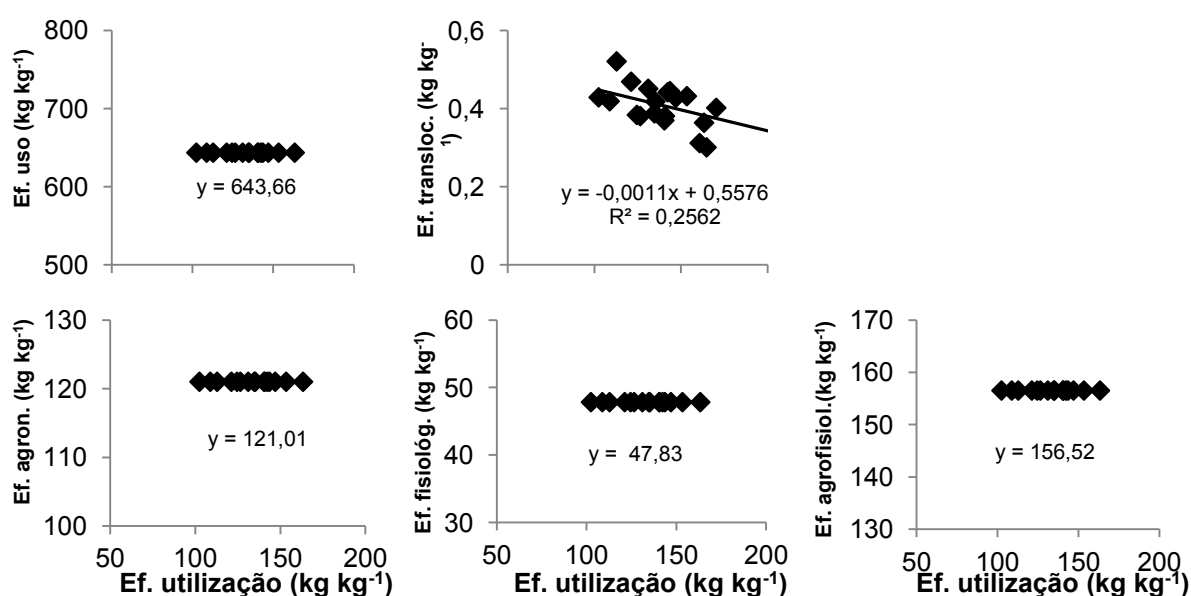


Figura 54: Regressões entre eficiência de utilização com de uso, translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino.

Como dito anteriormente, o aumento das doses de nitrogênio promoveu o aumento da eficiência de translocação do nutriente e, pelo fato da produtividade de colmos não crescer proporcionalmente ao acúmulo de N na planta, a eficiência de utilização de N se comportou com tendência decrescente em função das doses de N (Figura 40). Marschner (1995) afirma que a eficiência de utilização do nutriente depende de seu transporte para a parte aérea e de sua exigência metabólica pela planta.

Observou-se também que não houve interação significativa entre eficiência de utilização de N e eficiências de absorção (Figura 53), de uso, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica do nutriente (Figura 54) na cultura do sorgo sacarino.

A eficiência de uso do nitrogênio apresentou relação negativa com eficiência de translocação do nutriente (Figura 55).

Seguindo a mesma linha de raciocínio, a eficiência de translocação de N aumentou em função das doses de nitrogênio (Figura 45), enquanto que, a eficiência de uso do nutriente diminuiu (Figura 42), pois a produtividade de colmos não aumentou proporcionalmente à dose aplicada de N.

Observou-se relações positivas entre eficiência de uso e eficiências agrônômica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino (Figura 55).

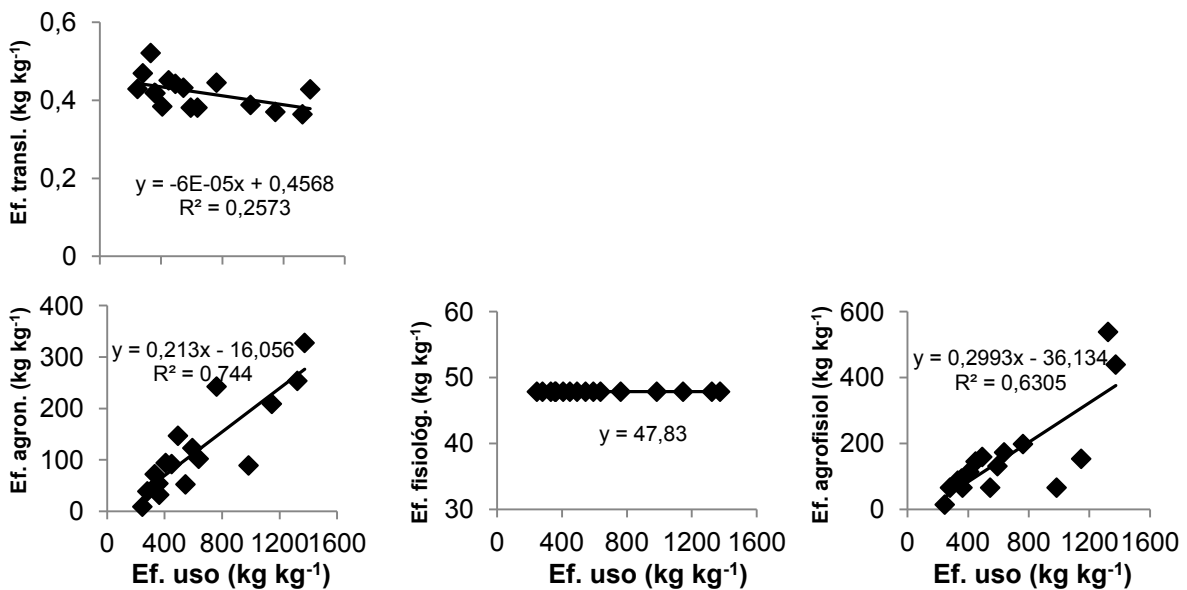


Figura 55: Regressões entre eficiência de uso com de translocação, agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N em sorgo sacarino.

A eficiência de uso de N exprime a produtividade de colmos por unidade de nitrogênio aplicado, enquanto que a eficiência agrônômica demonstra a produtividade econômica por esta mesma unidade de N.

Neste experimento observou-se relação positiva entre produtividade (PC) e ganho de produtividade ($PC_c - PC_s$) ($y = 38,42 + 1,2x$ $R^2 = 0,959^{**}$), portanto era esperada esta concordância dos resultados.

Da mesma forma, era de se esperar relação positiva entre eficiência de uso e agrofisiológica de N, pois observou-se relação positiva entre doses aplicadas de nitrogênio (N_a) e ganhos no acúmulo de N na planta ($N_{tc} - N_{ts}$) ($y = 2,875 + 0,802x$ $R^2 = 0,946^{**}$), além de entre produtividade e ganho de produtividade ($PC_c - PC_s$), como visto anteriormente.

A eficiência de translocação não relacionou-se significativamente com as eficiências agrônômica, fisiológica e agrofisiológica de N na cultura do sorgo sacarino (Figura 56).

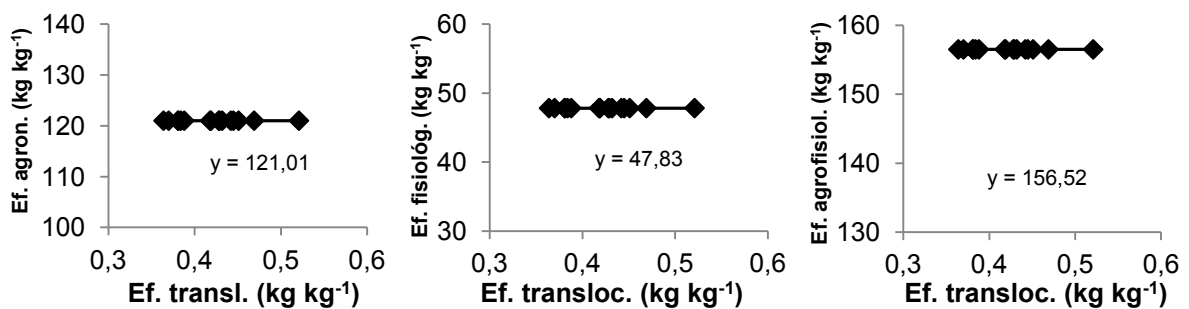


Figura 56: Regressões entre eficiência de translocação com agrônômica e fisiológica e agrofisiológica em sorgo sacarino.

A eficiência agrônômica de N relacionou-se positivamente com as eficiências fisiológicas e agrofisiológica (Figura 57).

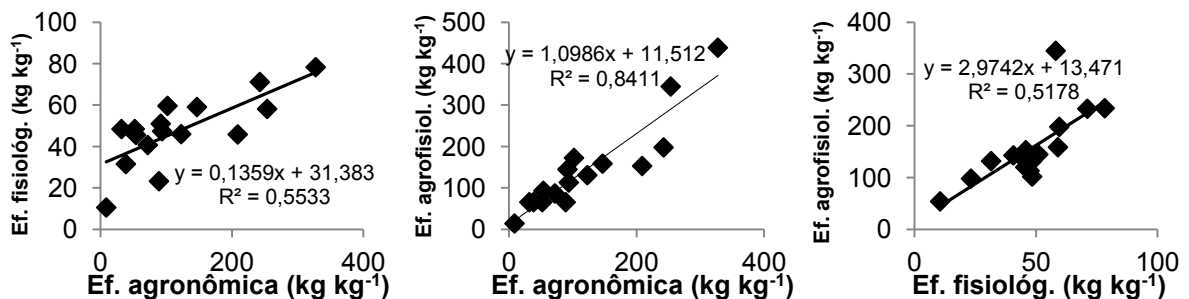


Figura 57: Regressões entre eficiência agrônômica com fisiológica e agrofisiológica e entre eficiência fisiológica com agrofisiológica em sorgo sacarino.

Para explicar a relação positiva encontrada entre eficiências agrônômica e fisiológica de N, verificou-se também relação positiva entre ganho de produtividade ($PC_c - PC_s$) e ganho de massa da matéria seca de toda a planta ($MS_c - MS_s$) ($y = 817,82 + 533,68x$ $R^2 = 0,936^{**}$), além da relação positiva entre doses aplicadas de

N (N_a) e ganhos acumulados de N na parte aérea ($N_{tc} - N_{ts}$), como visto anteriormente, portanto, esperava-se tal resultado na cultura do sorgo sacarino.

Para eficiências agrônômica e agrofisiológica de N, a argumentação é praticamente a mesma, pois, nos dois índices, o numerador é o ganho de produtividade de colmos ($PC_c - PC_s$), enquanto que, no denominador, existe relação positiva entre doses aplicadas de N (N_a) e ganhos acumulados de N na parte aérea ($N_{tc} - N_{ts}$), como visto anteriormente.

Da mesma forma, eficiência fisiológica relacionou-se positivamente com a agrofisiológica (Figura 57).

Existe grande semelhança na explicação deste caso com os anteriores, pois, o denominador das duas eficiências nutricionais é o ganho acumulado de N na parte aérea ($N_{tc} - N_{ts}$) e, no numerador estão o ganho de massa da matéria seca de toda a planta ($MS_c - MS_s$) e o ganho de produtividade de colmos ($PC_c - PC_s$) e, como visto anteriormente, possuem correlação positiva entre eles.

6. CONCLUSÕES

As maiores produtividades de sorgo sacarino e rendimento de etanol foram obtidos pelo cultivares CVW 82158 e CVW 82028.

As melhores doses para produtividade de colmos do sorgo sacarino ficaram entre 92 e 96 kg ha⁻¹ de nitrogênio, enquanto que, para rendimento de etanol, ficaram entre 83,83 e 117,7 kg ha⁻¹ de N.

A maior produtividade de colmos e maior rendimento de etanol foram observados com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 100 kg ha⁻¹ de N em V4-V5.

A aplicação do nitrogênio a lanço possibilitou maior produtividade de colmos, porém, para rendimento de etanol, não houve diferença em função do modo de aplicação do nutriente.

A aplicação nitrogenada promoveu alterações nas eficiências nutricionais de nitrogênio em sorgo sacarino.

7. REFERÊNCIAS

ABICHEQUER, A.D.; BONER, H; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.21-26, 1998.

AGNAL, M.B.; KACHAPUR, M.D.; CHETTI, M.B. The quality characters of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes as influenced by different nutrient levels. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Karnataka, v.5, n.2, p.114-120, 1992.

ALEXOPOULOU, E.; CHATZIATHANASSIOU, A. **Description of growing experience on sweet sorghum in Greece**. Greece: European Energy Crops InterNetwork, 1999.

ALMODARES, A.; SEPAHI, A.; KARVE, A. Effect of planting date on yield and sugar production of sweet sorghum. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.8, p.49-54, 1994a.

ALMODARES, A.; SEPAHI, A.; DALILITAJARY, R. Effect of phenological stages on biomass and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.8, p.42-48, 1994b.

ALMODARES, A.; AGHAMIRI, A.; SEPAHI, A. Effects of the amount and time of nitrogen fertilization on carbohydrate contents of three sweet sorghum cultivars. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.10, p.56-60, 1996.

ALMODARES, A.; SEPAHI, A. Comparison among sweet sorghum cultivars, lines and hybrids for sugar production. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.10, p.50-55, 1996.

ALMODARES, A.; ABDY, M.; SOMANI, R.B.; JILANI, S.K. Comparative study of sorghum sudangrass hybrids and lines for forage. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.13, p.6-10, 1999.

ALMODARES, A.; MOSTAFAFI, D.S.M. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. **J. Environ. Biol.**, Uttar Pradesh, v.27, p.601-605, 2006.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; HADI, M.R.; FATHI, M. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on the growth parameters and yield components of two sweet sorghum cultivars. Pakistan. **Biol. Sci.**, v.9, p.2350-2353, 2006.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ADELI, S. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars and lines. **The Journal of Environmental Biology**, Uttar Pradesh, v3, n.28, 527-531, 2007a.

ALMODARES, A. HADI, M.G.; DOSTI, B. Effects al salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. **Journal of Biological Sciences**, Pakistan, v.7, p.1492-1495, 2007b.

ALMODARES, A.; HADI, M.G.; RANJBAR, M.; TAHERI,R. The effects of nitrogen treatments, cultivars and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. **Asian J. Plant Sci.**, Pakistan, v.6, p.423-426, 2007c.

ALMODARES, A.; HADI, M.R.; AHMADPOUR, H. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phonological, stages and salinity levels. **Afr. J. Biotech.**, v.7, p.4051-4055, 2008a.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; CHUNG, M.; FATHI, M. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate content of sweet sorghum cultivars. **J. Environ. Biol.**, Pakistan, v.29, p.849-852, 2008b.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ADELI, S. Stalk yield and carbohydrates composition of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars and lines at different growth stages. **J. Malesian Appl. Biol.**, v.37, p.31-36, 2008c.

ALMODARES, A.; HADI, M.R.; DOSTI, B. The effects of salt strees on growth parameters and carbohydrates contents in sweet sorghum. **Res. J. Environ. Sci.**, New York, v.2, p.298-304, 2008d.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ADELI, S. Categorization of sweet sorghum cultivars and lines as sweet, dual purpose and grain sorghum. **J. Tropical. Agr.**,v.46, p.62-63, 2008e.

ALMODARES, A.; HADI, M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos Nigeria, v.4, n.9, p.772-780, 2009.

ALMODARES, A.; RANJBAR, M.; HAIDI, M.R. Effects of nitrogen treatments and harvesting stages on the aconitic acid, invert sigar and fiber in sweet sorghum cultivars. **Journal of Environmental Biology**, Uttar Pradesh, v.31, n.6, p.1001-1005, 2010.

AMADUCCI, S.; MONTI, A.; VENTURI, G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. **Ind. Crops Prod.**, v.20, p.111-118, 2004.

AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.467-473, 2005.

AMARAL, J.F.T. FONSECA, A.F.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.; FONTES, P.C.R. Deficiências de macronutrientes, Fe e B em manjerição (*Ocimum SP.*), em cultivo hidropônico. **Revista Ceres**, Viçosa, v.46, n.265, p.297-308, 1999.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; FRUGONE, M. Intercepted radiation and kernel number in maize: shade versus plant density effects. **Crop Science**, Madison, v.33, p.482-485, 1993.

ANDRADE, R.V.; OLIVEIRA, A.C. Maturação fisiológica do colmo e da semente de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.10, n.3, p.19-31, 1988.

ANGLANI, C. Sorghum carbohydrates – **A Rev. Plant Food Human Nutr.**, New York, v.52, p.77-83, 1998.

ANTONOPOULOU, G.; GAVALA, H.N.; SKIADAS, I.V.; ANGELOPOULOS, K.; LYBERATOS, G. Biofuels generation from sweet sorghum: fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. **Bioresour. Technol.**, Amsterdam, v.99, p.110-119, 2008.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.771-777, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FOSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L.L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.109-119, 2003.

ASHER, C.J.; LONERAGAN, J.F. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: I. Growth and phosphorus content. **Soil Science**, Baltimore, v. 103, p.225-232, 1967.

AVRAN, P.; STARK, T. Integration of ethanol production with a sugar factory producing maximum cogeneration. **International Sugar Journal**, London, v.106, p.126-137, 2004.

AZARFA, A.; GHORBANI, G.; ASADI, Y.; ALMODARES, A. Dry matter, organic matter and starch degradability in barley and three low, medium and light tannin sorghum varieties. **Agric. Sci.**, v.8, p.56-60, 1998.

BAILEY, B.K. Performance of ethanol as a transportation fuel. In: WYMAN, C.E. (Ed.), **Handbook on Bioethanol: Production and Utilization**, Washington, DC: Taylor and Francis, 1996, p.37-60. (Applied Energy Technology).

BALASUBRAMANIAN, A.; RAMAMOORTHY, K. Effect of plant geometry, nitrogen levels and time of harvest on the productivity of sweet sorghum. **The Madras Agricultural Journal**, Coimbatore, v.83, n.7, p.462-463, 1996a.

BALASUBRAMANIAN, A.; RAMAMOORTHY, K. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on juice yield and quality of sweet sorghum. **The Madras Agricultural Journal**. Coimbatore, v.83, v.7, p.464, 1996b.

BALOLE, T.V. **Strategies to improve yield and quality of sweet sorghum as a cash crop for small scale farmers in Bostwana**. 2001, 128p. Thesis (Doctor of Philosophy) – Faculty of Biological and Agricultural Science. University of Pretoria, 2001. Disponível em: <http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-05032002-082332/unrestricted/00front.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2013.

BAPAT, D.R.; SHINDE, M.D.; PADHYA, A.P.; DHANDE, P.H. Screening of sweet sorghum varieties. **Sorghum Newsletter**, Andhra Pradesh, v.26, p.28, 1983.

BARBANTI, L.; GRANDI, S.; VECCHI, A.; VENTURI, G. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. **Eur. J. Agron**, v.25, p.30-39, 2006.

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**, 1994. 249 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BASNAYAKE, J.; COOPER, M.; LUDLOW, M.M.; HENZELL, R.G.; SNELL, P.L. Inheritance of osmotic adjustment to water stress in three grain sorghum crosses. **Theor Appl Genet**, v.90, p.675-682, 1995.

BASTOS, V.D. **Etanol, alcooquímica e biorrefinarias**, Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2007, n.25, p.5-38.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATISTA, F. Monsanto quer impulsionar sorgo em etanol. Araçatuba: UDOP, jan. 2013. Disponível em: <http://udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1096904#nc>. Acessado em 24 de outubro de 2013.

BEN, J.R. **Resposta diferencial de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) a fósforo no solo**. 1989, 109p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.

BEN, J.R.; ROSA, O.S. Comportamento de algumas cultivares de trigo em relação a fósforo no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.9, p.967-972, 1983.

BERENQUER, M.J.; FACI, J.M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. **Eur. J. Agron.**, v.15, p.43-55, 2001.

BERNDES, G.; HOOGWIJK, M.; BROEK, R. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. **Biomass Bioenergy**, Kidlington, v.25, p.1-28, 2003.

BESHEIT, S.Y.; DOOH, A.A.; MARIA, G.B.; ALI, M.K. Stalk and technochemical characteristics of two sweet sorghum cultivars as influenced by nitrogen fertilization. **Adv. Agric. Res.**, 1996, v.1, p.36-42.

BICZAK, R.; GRUL, E.; HERMAN, B. The effect of NPK fertilization on yield and content of chlorophyll, sugars and ascorbic acid in celery. **Folia Hort.**, v.10, p.23-34, 1998.

BILLA, E.; KOULLAS, D.P.; MONTIES, B.; KOUKIOS, E.G. Structure and composition os sweet sorghum stalk components. **Ind. Crops Products**, v.6, p.297-302, 1997.

BIRCH, C.J.; HAMMER, G.L.; RICKERT, K.G. Improved methods for predicting individual leaf area and leaf senescence in maize (*Zea mays*). **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.49, p.249-262, 1998.

BLASKO, L.; ABRAHAM, E.B.; BALOGH, I. Possibilities of sweet sorghum production on a salt affected soil. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula: Protectia Mediului*, Campinas, v.14, p.32-39, 2009.

BLASS, J.; ALMODARES, A.; SOMANI, R.B. Econo-Feasibility of sugar production from sweet sorghum. *PKV Res. J.*, v.24, p.30-34, 2000.

BORGONOVI, R.A.; GIACOMINI, F. **Recomendações para cultivo do sorgo**. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1980, 77p. (Circular Técnica 01).

BORGONOVI, R.A.; GIACOMINI, F.S.; SANTOS, H.L.; FERREIRA, A.S.; WAQUIL, J.M.; SILVA, J.B.; CRUZ, I. **Recomendações para o plantio de sorgo sacarino**. Sete lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1982, 16p. (Circular Técnica 08).

BORRA'S, L.; WESTGATE, M.E.; ASTINI, J.P.; ECHARTE, L. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *Field Crops Res.*, 2007, n.102, p.73-85.

BRIDGHAM, S.D. Nutrient-use efficiency: a litterfall index, a model, and a test along a nutrient-availability gradient in North Carolina peatlands. *The American Naturalist*. Chicago, v.145, n.1, p.1-21, 1995.

BROADHEAD, D.M. Effect of planting date and maturity of Rio sweet sorghum. *Agron. J.*, v.64, p.389-390, 1972.

BROADHEAD, D.M.; FREEMAN, K.C. Stalk and sugar yield of sweet sorghum as affected by spacing. *Agron. J.*, v.72, p.523-534, 1980.

BUCHANAN, C.D.; LIM, S.; SALZMAN, R.A.; KAGIAMPAKIS, I.; MORISHIGE, D.T.; WEERS, B. Sorghum bicolor's transcriptome response to dehydration, high salinity and ABA. *Plant Mol Biol*, v.58, p.699-720, 2005.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (eds) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. P.63-145.

CADDEL, J.L.; WEIBEL, D.E. Effect of photoperiod and temperature on development of sorghum. *Agron. J.*, v.63, p.799-803, 1971.

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.8, n.3-4, p.24-39, 1990.

CHENG, X.; ZHU, W.B.; XIE, G.H. Agro-bioenergy and energy crops. **J.Nat. Resour.**, v.24, p.842-848, 2009.

CIOMPI, S.; GENTILI, E.; GUIDI, L.; SOLDADINI, G.F. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas Exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, Limerik, v.118, p.177-184, 1996.

CLARK, J. **The inheritance of fermentable carbohydrates in stems of Sorghum bicolor (L.) Moench**. 1981 Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, 1981.

COELHO, A.M., WALQUIL, J.M.; KARAN, D.; CASELA, C.R.; RIBAS, P.M. **Seja doutor do seu sorgo**. Piracicaba: POTAFOS, 2002, 24p.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.187-193, 1991.

COLTMAN, R.R.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Differential tolerance of tomato strains to maintained and deficient levels of phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.110, n.2, p.140-144, 1985.

CONSECANA – CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de Instrução, Piracicaba, 2006, 112p.

CORDEIRO, L.A.M.; HOEK, J.B.V.D. Nitrogênio na cultura do milho sob sistema plantio direto. **Revista Faptuciência**, Unaf, v.13, p.27-54, 2007.

COUTINHO, E.L.M.; NEPTUNE, A.M.L.; SOUZA, E.C.A.; SORIANO, A.G.. Calagem e diagnose foliar em sorgo sacarino. **Anais...** ESALQ, Piracicaba, v.42, p.33-49, 1985.

COUTINHO, E.L.M.; FARES, J.C.; PINTO, A.G.; SOUZA, E.C.A.; Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na cultura do sorgo sacarino, avaliados pela diagnose foliar, produção de colmos e etanol. **Científica** (São Paulo), São Paulo, v.16, n.2, p.261-270, 1988.

COWLEY, W.R.; SIMTH, R.A. Sweet sorghum as a potential sugar crop in south Texas. Proc. Int. **Soc. Sug. Cane Technol.**, v.14, p.628-633, 1972.

CRAUFURD, P.Q.; QI, A. Photothermal adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor*) in Nigeria. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.108, p.199-211, 2001.

CRUZ, J.L. **Efeitos de níveis de nitrato sobre o metabolismo do nitrogênio, assimilação de CO₂ e fluorescência da clorofila a em mandioca**. 2001. 87f. (Tese de doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CUNHA, S.P.; SEVERO FILHO, W.A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v.14, n.2, p.69-75, 2010.

DAYAKAR RAO, B.; RATNAVATHI, C.V.; KARTHIKEYAN, K.; BISWAS, P.K.; RAO, S.S.; KUMAR, V.B.S.; SEETHARAMA, N. **Sweet sorghum cane for bio-fuel production: A SWOT analysis in Indian context**. Andhra Pradesh: National Research Centre for Sorghum, 2004, 20p.

DINIZ, G.M.M. **Produção de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): Aspectos gerais**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010, 22p.

DOLCIOTTI, I.; MAMBELLI, S.; GRANDI, S.; VENTURI, G. Compararison of two *Sorghum* genotypes for sugar and fiber production. **Indu. Crops Prod.**, v.7, p.265-272, 1998.

DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding parameters. **Advance in Agronomy**, San Diego, v.28, p.361-405, 1976.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. **Milho: população e distribuição de plantas**. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Coord.). Milho: tecnologia da produtividade. Piracicaba: ESALQ, 2001, p.120-125.

DRAPCHO, C.M.; NHUAN, N.P.; WALKER, T.H. 2008. **Biofuels Engineering Process Technol.**. New York: The McGraw-Hill companies, Inc, USA, 2008.

DUETE, R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho sob sistema plantio direto. **Revista Factuciência**, Unaí, v.13, p.27-54, 2007.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Leaf area development in field-grown maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.334-343, 1986.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; HAMILTON, R.R.I.; HOUWING, L. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.430-438, 1992.

EASTIN, J.D.; GERIK, T.; RICE, J.; DOBRENZ, A. Environmental responses in sorghum. In: REUNION INTERNACIONAL DE SORGO 1978, Buenos Aires. **Annais...** Buenos Aires: Secretaría de Agricultura y Ganadería de La Nación, 1978, p.321-324.

EGHBALL, B.; MARANVILLE, J.W. Interactive effects of water and N stresses on N utilization efficiency, leaf water status and yield of corn genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.22, p.1367-1382, 1991.

EGHBAL, K. Influence of site and N fertilizer application on yield and biomass quality of sweet sorghum as a possible

ELLIOT, G.C., LÄUCHLI, A. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.399-403, 1985.

ble energy source. **Agribio. Res.**, v.46, n.1, p.1-9, 1993.

EL-HODA, N.; TAHA, M.; EL-KOLIEY, M.M. Response of sweet sorghum to irrigation intervals and nitrogen fertilization. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**, Assiut, v.30, n.3, p.65-80, 1999.

ELINGS, A. Estimation of leaf area in tropical maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, p.436-4, 2000.

EL-LATTIEF, E.A.A. Nitrogen management effect on the production of two sweet sorghum cultivars under Arid Regions conditions. **Asian J. Crop Sci.**, 2011, n.3, v.2, p.77-84.

EMBRAPA Milho e Sorgo – **Sistemas de Produção**, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica – 5ª edição Set./2009 Produção de Sorgo.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006, 412p.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed. Manual de métodos de análise de solo, Rio de Janeiro: 1997, 212p.

EMBRAPA Milho e Sorgo 2010. **Evolução do sorgo sacarino para produção de etanol é viável**. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/noticias>. Acessado em 16/7/2013.

EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral das Plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Ed., 341p., 1975.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípio e perspectivas**. Londrina, Ed. Planta, 402p, 2006.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlin, v.78, p.9-19, 1989.

EVANS, L.T. Processes, genes, and yield potential. In: BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R.A.; BLAD, B.L.; ASAY, K.H.; PAULSEN, G.M.; WILSON, R.F. (Eds.) **International Crop Science**. Madison: Crop Science Society of America, 1993. P.54-71.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional da produção das culturas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FASABI, J.A.V. **Carências de macro e micronutrientes em plantas de malva (Urena lobata), variedade BR-01**. 1996, 90 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1996.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Sweet sorghum in China**. Rome, 2002, Spotlight/2002, World Food Summit: Five Years Later: Disponível em: <http://www.fao.org/ag/magazine/0202sp2.htm>. Acesso em 11 nov.2013.

FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science**, Washington, DC, v.319, p.1235-1238, 2008.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.9, n.2, p.135-146, 2010.

FAZAELI, A.; OEHM, C.; SELLE, M.; WERNER, P. Biotic and abiotic transformations of methyl tertiary butyl ether (MTBE). **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, v.12, p.381-386, 2006.

FERNANDES, F.C.S.; ARF, S.B.O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso do nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.2, p.195-204, 2005.

FERRARIS, R.; STEWART, G.A. new options for sweet sorghum. **J. Aus. Inst. Agric. Sci.**, v.45, p.156-164, 1979.

FERRARIS, R.; CHARLES-EDWARDS, D.A. A comparative analysis of the growth of sweet sorghum crops. Accumulation of soluble carbohydrate and nitrogen. **Aust. J. Agric. Res.**, v.37, p.513-522, 1986.

FISHER, A.; OEHM, C.; SELLE, M.; BERNER, P. Biotic and abiotic transformations of methyl tertiary butyl ether (MTBE). **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, v.12, p.381-386, 2005.

FONTES, M.M.; SILVA, B.A.; DANTAS, J.P.; SILVEIRA, D.C.; CAVALCANTI, M.T. Caracterização físico-química do melado de sorgo granífero sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Verde**, Mossoró, 2011, v.6, n.1, p.216-219.

FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M.; RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. Acumulação de massa e de nitrogênio na cultura de milho irrigado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1992-1993**, Sete Lagoas – EMBRAPA-CNPMS, 1994, p.29-30.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf estimation in maize (*Zea mays* L.) **Crop Science**, Madison, v.9, p.537-539, 1969.

FREEMAN, K.G.; BROADHEAD, D.M.; ZUMMO, N. **Culture of sweet sorghum for syrup production**. Washington, DC: U.S. Department Agriculture, 1973 (Agriculture Handbook, 441).

FREITA, L.A.; MENEGELLI, L.; BARBOSA, P.; MACRI, R.M.V.; MUTTON, M.J.R.; MUTTON, M.A. Avaliação da produção de biomassa de genótipos de sorgo cultivados em Jaboticabal-SP. In: VI WORKSHOP AGROENERGIA, 6. 2012, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: APTA, Instituto Agrônomo (IAC-APTA), 2012.

GALANI, N.N.; LORNTE, M.H.; CHOUDHARI, S.D. Juice yield and brix as affects by genotype, plant density and N levels in high-energy sorghum. **Bharatiy A. Sugar**, v.16, p.23-24, 1991.

GARDNER, J.C.; MARANVILLE, J.W.; PAPAROZZI, E.T. Nitrogen use efficiency among diverse sorghum cultivars. **Crop Sci.**, Madison, v.34, p.728-733, 1994.

GARDNER, F.P.; PEARCE, B.R.; MITCHELL, R.L. **Physiology of Crop Plants**. Ames, USA: Iowa State Univ. Press, Ames, 1985, 478p.

GIRMA, F.S. Osmotic adjustment: A drought tolerance mechanism in sorghum. **Sci. Eng.**, v.50, p.4570-4573, 1989.

GIULIANI, M.M.; GIUZIO, L.; DE CARO, A.; FLAGELLA, Z. Relationships between nitrogen utilization and grain technological quality in Durum Wheat: Nitrogen translocation and nitrogen use efficiency for prottein. **Agronomy Journal**, Madison, v.103, n.5, p.1487-1494, 2011.

GNANSOUNOUA, E.; DAURIATA, A.; WYMAN, C.E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar. Economic trade-offs in the context of North China. **Bioresour Technol.**, Amsterdam, v.96, p.985-1002, 2005.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. **Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de Panicum maximum**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1966, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1966, p.403-405.

GOSH, B.C.; BHAT, R. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. **Environ. Pollut.**, 102:123-126, 1998.

GREENWOOD, D.J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT, A.; MILLARD, P.; NEETESON, J.J. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. **Annals of Botany**, London, v.67, p.181-190, 1991.

GUIDI, L.; LOREFICE, G.; PARDOSSI, A.; MALORGIO, F.; TOGNONI, F.; SOLDATINI, G.F. Growth and photosynthesis of *Lycopersicum esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v.40, p.235-244, 1988.

GUTTE, V.V.; KAPANJIKAR, P.N. Effects of plant densities and fertilizer levels on growth and yield of sweet sorghum. **Asian J. of Soil Sci.**, v.2, n.2, p.150-152, 2007.

GUTTE, A.V.; KARANJIKAR, P.N.; DHAMAK, A.L. Effect of plant densities and fertilizer levels on quality of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **J. Soil and Crop**, v.1, n.18, p.108-111, 2008.

HAI, J.D.; MU, W.Z.; PING, L.; HUA, C.Y. Effect of various amount of fertilizer planting and densities on yield and sugar content of New Sweet Sorghum 3. **Xinjiang Agricultural Sciences**, Urumgi, v.47, n.1; p.47-53, 2010.

HALLAM, A.L.; ANDERSON, C.; BUXTON, D.R. Comparative economic analysis of perennial, annual and intercrops for biomass production. **Biomass Bioenergy**, Kidlington, v.21, p.407-424, 2001.

HAN, L.P.; STEINBERGER, Y.; ZHAO, Y.L.; XIE, G.H. Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.120, p.230-240, 2011.

HEBERT, M; KARAM, A.; PARENT, L.E. Mineralization of nitrogen and carbon in soils amended with composted manure. *Biological Agriculture and Horticulture*, v.7, p.349-361, 1991.

HELAL, H.M. Varietal differences in root phosphatase activity as relate to the utilization of organic phosphates. **Plant and soil**, Dordrecht, v.123, p.161-163, 1990.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ,I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M.; GALLAIS, A. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, Rockville, v.25, p.1258-1270, 2001.

HILTON, B.R.; FIXEN, P.E.; WOODWARD, H.J. Effects of tillage, nitrogen placement, and wheel compactation on denitrification rates in the corn cycle of a corn-oats rotation. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.1341-1357, 1994.

HONG, C.W.; KATYAL, J.C.; VLEK, P.L.G. Losses and utilization of nitrogen by sorghum as affected by the depth of a swelling clay soil. **J. Agronomy & Crop Science**, v.168, p.263-271, 1992.

HOPKINS, W.G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Wiley, 464p., 1995.

HORST, W.J.; ABDOU, M.; WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. **Plant and Soil**. Dordrecht, v.155/156, p. 293-296, 1993.

HUA, L.L.; PING, Z.G.; DE, Q.Y.; DONG, L.Y. Influence of single or double row ridge and fertilizer quantity on yield and quality of hybrid sweet sorghum. **Journal of Henan Agricultural Sciences**, Ontario, v.3, p.15-17, 2010.

HUGAR, A.Y. Influence of nitrogen and harvesting on dry matter and millable cane yield of sweet sorghum. **Agric. Sci. Digest**, 2010, n.30, v.1, p.19-22.

HUGAR, A.Y.; JAYADEVA, H.M.; RANGASWAMY, B.R.; SHIVANNA, S.; CHANDRAPP, H. Assessing the effect of nitrogen and harvesting stages on yield attributes of sweet sorghum genotypes. **Agric. Sci. Digest**, 2010, n.30, v.2, p.139-141.

HUNTER, E.; ANDERSON, I. Sweete Sorghum. In: JANICK, J. (Ed.) **Horticultural Reviews**. New York: John Wiley and Sons, New York, 1997, p.73-104.

INGE, J.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B. COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. **Agric. For. Meteorol.**, v.121, p.19-35, 2004.

INMAN-BAMBER, N.G. An evaluation of sweet sorghum as a sugar crop in the Midlands Mistbelt. S.A. **Sugar J.**, v.64, 419p., 1980.

JACKSON, D.R.; ARTHUR, M.F. **Alcohol crop for the U.S. Gasohol USA**,[S].: 1980, v.2, p.26-33.

JACQUES, K.; LYONS, T.P.; KELSALL, D.R. 1999. **The alcohol textbook**. 3rd Eds., Nottingham: Alltech, 1999, p.388.

JAFARINIA, M.; ALMODARES, A.; KHORVASH, M. Using sweet sorghum bagasse in silo. In: CONGRESS OF USING RENEWABLE SOURCES AND AGRIC. WASTES , 2., 2005. **Proceeding...** Isfahan, Iran: Khorasgan Azade University, Isfahan, Iran, 2005.

JANG, J.G.; SHENN, J. Sugar sensing in higher plants. **Plant Cell**, Rockville, v.6, p.1665-1679, 1994.

JATASARA, D.S.; RANA, D.S.; SHEORAN, R.S. Efficacy of Azotobacter inoculation under graded doses of nitrogen fertilizer in relation to growth, yeld and nitrogen utilization efficiency of oat (*Avena sativa* L.). **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v.48, n.2, p.165-170, 2000.

JOHNSTON, A.E. Efficient use of nutrients in agricultural production systems. **Common Soil Sci. Plant Ann.**, v.31, p.1599-1620, 2000.

JORDAN, W.R.; MILLER, F.R. Genetic variability in sorghum root systems: implications for drought tolerance. In: TURNER, P.C.; KRAMER, P.J. (Ed.)

Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. New York: John Wiley & Sons, 1980, p.383-399.

JOZSA, L. Effect of nutrient supply on the quality and quantity of the yield of sadan grass and sweet sorghum. **Sorghum News letter.**, Andhra Pradesh, v.27, p.54-55, 1984.

JUN, F.G.; MU, W.Z.; HAI, J.D. Research on the relations between the brix of internodes and average brix of stem of sweet sorghum. **Xinjiang Agricultural Sciences**, Urumgi, v.45, p.584-589, 2008.

KACHAPUR, M.D.; HUNJE, D. Nutrition management in sweet sorghum. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Karnataka, v.9, n.1, p.151-154, 1996.

KAGNE, S.V.; BAVALGAVE, V.G.; WAGHMARE, M.S.; BODAKE, B.L. Response of fertilizers and organic manure on growth, yield and quality of sweet sorghum. **Asian Journal of Soil Science**, v.3, n.2, p.313-315, 2008.

KARANDE, B.I.; VARSHNEYA, M.C.; NAIDU, T.R.V. Photoperiodically sensitive time interval for panicle initiation of sorghum. **India J. of Plant Physiology**, v.1, n.4, p.258-261, 1996.

KEATING, B.A.; WAFULA, B.N. Modeling the fully expanded area of maize leaves. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.29, p.163-176, 1992.

KESARWANI, A.; SHARANAPPA. Millable stalk yield, nutrient uptake and soil health in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) production as influenced by different organic sources of nutrients. Mysore **J. Agric. Sci.**, v.1, n.43, p.18-23, 2009.

KESSEL, C.V.; PENNOCK, D.J.; FARREL, R.E. Seasonal variation in denitrification and nitrous oxide evolution at the landscape scale. **Soil Sci. Am. J.**, 57:988-955, 1993.

KHOSLA, R.; ALLEY, M.M.; DAVIS, P.H. Nitrogen management in no-tillage grain sorghum production: I. Rate and time of application. **Agron. J.**, 92:321-328, 2000.

KOLEMAN, O.H.; STOKES, I.E. **Storage studies of sorgo.** Washington, DC: Agriculture Research Service. United States Department of Agriculture. 1964. (Technical Bulletin, 1307).

KRAVTSOV, V.A. Effect of mineral fertilization on green matter yield and quality of sweet sorghum. **Kukuruzai Sorgo**, Moscow, v.5, p.21-22, 2004.

KRESOVICH, S. Sweet sorghum. In: Mc CLURE, A.; LIPINSKI, E.S. (Eds.), **Handbook of Biosolar Resource**. Boca Raton: CRC Press Inc., 1981, p.147-155.

KUMAR, S.R.; SHROTRIA, P.K.; DESHMUKH, J.P. Characterizing nutrient management effect on yield of sweet sorghum genotypes. **World Journal of Agricultural Sciences**, Dubai, v.4, n.6, p.787-789, 2008.

LAL, P.; REDDY, G.G.; MODI, M.S. Accumulation and redistribution pattern of dry matter and N in triticale and wheat varieties under water stress condition. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.4, p.623-626, 1978.

LARA CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LEIBLE, L.; KAHNT, G. Investigations in to the effect of locate on, sowing rate N application, cultivars and harvesting date on yield and composition of sweet sorghum. **J. Agron. Crop Sci.**, v.166, p.8-18, 1991.

LEMCOFF, J.H.; LOOMIS, R.S. N influences on yield determination in maize. **Crop Science**, Madison, v.26, p.1017-1022, 1986.

LI, D. Developing sweet sorghum to accept the challenge problems on food energy and environment 21st century. In: INTERNATIONAL SWEET SORGHUM CONFERENCE, 1. **Proceeding...** Beijing, China: Chines Academy of Science, 1997, p.19-34.

LI, S.Z.; CHAN-HALBRENDT, C. Ethanol production in the People's Republic of China: potential and technologies. **Appl. Energy**, v.86, p.162-169, 2009.

LIMON-ORTEGA, A.; VILLASEÑOR-MIR, E.; ESPITIA-RANGEL, E. Nitrogen management and wheat genotype performance in a planting system on narrow raised beds. **Cereal Research Communications**, Budapest, v.36, n.2, p.343-352, 2008.

LIPINSKI, E.S.; KRESOVICH, S. Sorghum as energy crops, In: LIEBENAU, A. (Ed.). **Proceedings of the Bio-energy 80 World Congress and Exposition**. Washington, D.C., The Bio-Energy Council, 1980, p.91-93.

LIPINSKI, E.S.; KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experientia**, Basel, v.38, p.13-17, 1982.

LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1584-1596, 1999.

LOPES, A.S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Tradução e Adaptação de Alfredo Scheid Lopes. Piracicaba: Potafos, 1998, p.40-41.

LOPES, N.F.; MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em populações de milho em Viçosa, MG. **Revista Ceres**, Viçosa, n.20, v.190, p.189-201, 1973.

LOURENÇO, M.E.V.; MASSA, V.M.L.; PALMA, P.M.N.; RATO, A.E.M. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30,n.1, 2007.

LUCCHESI, A.A. **Utilização prática da análise de crescimento vegetal**. Anais da E.S.A. "Luis de Queiroz", v.41, p.181-202, 1984.

LUPATINI, G.C. **Produção animal em milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) submetido a níveis de adubação nitrogenada**. 1996. 126f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, 1996.

MCCOLLUM, T.; MCCUISTION, K.; BBEAN, B. Brown midrib and photoperiod sensitive forage sorghums. In: Plains Nutrition Council Spring Conference, 2005, San Antonio, Texas. **Proceedings..** Amarillo. Texas: Texas A & M University, 2005. p.36-46.

MACHADO, E.C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 1985. p.12-15.

MACHADO, A.T.; SODEK, L.; FERNANDES, M.S. N-partitioning, nitrate reductase and glutamine synthetase activities in two contrasting varieties of maize. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v.36, n.2, p.249-256, 2001.

MACHADO, J.R.; NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.A.; BRINHOLI, O. Sowing dates for sweet sorghum in São Manuel and Botucatu, São Paulo State. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.22, p.951-958, 1987.

MACKEE, G.W. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.56, p.240-241, 1964.

MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v.71, p.183-193, 2001.

MAGALHÃES, J.R.; FERNANDES, M.S.; Absorção e metabolismo do N sob condições de estresse. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE N EM PLANTAS,1., 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: UFRR, 1993. P.249-266.

MAHESHWARI, B.K.; PRASAD, J.; SING, G.B.; SHARMA, R.K. Studies of sweet sorghum in India. Effect of date of sowing and stage of harvest on yield and quality of sweet sorghum. **Proceeding...** In: THE S.T.A. OF INDIA, 40,1974.

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

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: Colheitas econômicas máximas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1993, 210p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba. Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.

MANSAB, A.L.; JEFFERS, D.L.; HENDERLONG, P.R. Interrelationship between leaf area, light interception and growth rate in a soybean-wheat system. **Asian J. Plant Sci.**, 2003, n.2, p.605-612.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUA, M.C.P.; BARBOSA, J.C.; FREIRIA, A.C. Mineralização de carbono e de nitrogênio provenientes de lixo urbano em Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.677-684, 2006.

MAR, G.D., MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.6, n.2, p.267-274, 2003.

MARCHEZAN, E.; SILVA, M.I. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria, RS. **Rev. Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, 1984, n.14, v.3, p.161-172.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995, 889p.

MONROE, G.E.; NICHOLS, R.L.; BRYAN, W.L.; SUMMER, H.R. Sweet sorghum juice with 3-roll mills. **Trans. ASAE**, v.27, n.3, p.651-654, 1984.

MONTEMURRO, F.; COLUCCI, R.; MARTINELLI, N. Fertilization and N use efficiency in sweet sorghum growing under Mediterranean conditions. **Revista di Agronomia**, Udine, v.36, n.4, p.313-318, 2002.

MONTGOMERY, E.C. Correlation studies of corn. **Ann. Rep. Nebraska Agric. Exp. Sta.**, p.111-159, 1911.

MOTT, G.O.; POPENOE, H.L. Glasslands. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. (Eds.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, New York, Academic Press, 1977, p.157-186.

MUCHOW, R.C.; DAVIS, R. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II – Radiation interception and biomass accumulation. **Field Crops Res.**, Amsterdam, v.18, p.17-30, 1988.

MUCHOW, R.C.; COOPER, M.; HAMMER, G.L.; Characterizing environmental challenges using models, In: By COOPER, M.; HAMMER, G.L. (Ed.) **Plant Adaptation and Crop Improvement**, Wallingford. CAB International, 1996, p.349-364.

MUMINOV, N.S. Dynamics of the accumulation of sugars in sweet sorghum. Brief Communications. **Chemistry of Natural Compounds**, New York, v.33, n.3, p.353-354, 1997.

MURRAY, S.C.; SHARMA, A.; ROONEY, W.L.; KLEIN, P.E.; MULLET, J.E.; MITCHELL, S.E.; KRESOVICH, S. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I. QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. **Crop Science**, Madison, v.48, p.2165-2179, 2008a.

MURRAY, S.C.; ROONEY, W.L.; MITCHELL, S.E.; SHARMA, A.; KLEIN, P.E.; MULLET, J.E.; KRESOVICH, S. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: II. QTL for stem and leaf structural carbohydrates. **Crop Science**, Madison, v.48, p.2180-2193, 2008b.

MUURINEN, S.; KLEEMOLA, J.; PELTONEN-SAINIO, P. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.99, n.2, p.441-449, 2007.

QIU, W.Y.; QIU, Z.J.; PENG, Z.Z.; KAI, Z. Research on variation pattern of brix in sweet sorghum stalk for energy use. **Journal of China Agricultural University**, Ontario, v.15, p.6-11, 2010.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, p.171-175, 1967.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

RAJAGOPAL, D. Implications of India's biofuel policies for food, water and the poor. **Water Policy**, London, v.10, p.95-106, 2008.

RASPER, V.F. Quality evaluation of cereal and cereal products. In: LORENZ, K.J.; KULP, K. (Ed.). **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991, p.592-638.

RANJBAR, M.; ALMODARES, A. The effect of nitrogen application time and harvesting on sweet sorghum yield. **Flavarjan Azad University**, v.1, p.59-69, 2002.

REDDY, B.V.S.; RAMESH, S.; REDDY, P.S.; RAMAIAH, B.; SALIMATH, P.M.; KACHAPUR, R. Sweet sorghum – A potential alternative raw material for bio-ethanol and bio-energy. **Int. Sorghum Millets Newslett**, v.46, p.79-86, 2005.

REDDY, B.V.S.; REDDY, P.S.; KUMAR, A.A.; RAMAIAH, B. Variation in the quality parameters of sweet sorghum across different dates sowing. **Journal of SAT Agricultural Research**, Andhra Pradesh, 2007, v.5, n.1, p.1-3.

REDDY, P.S.; REDDY, B.V.S.; KUMAR, A.A.; RAO, P.S. Standardization of nitrogen fertilizer rate for sugar yield optimization in sweet sorghum. **Journal of SAT Agricultural Research**, Andhra Pradesh, v.6, p.1-4, 2008.

REGO, T.J.; RAO, V.N.; SEELING, B.; PARDHASARADHI, G.; RAO, J.V.D.K. Nutrient balances a guide to improving sorghum and ground based dry land cropping systems in semi-arid tropical India. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.81, p.53-68, 2003.

REIS, G.G.; MÜLLER, M.W. **Análise de crescimento de plantas, mensuração de crescimento**. Belém. FCAP. 39p., 1979.

REISI, F.; ALMODARES, A. **The effect of planting date on amylose content in sorghum and corn.** In: Proceeding of the 3rd. Int. Biol. Conference (Eds. REISI, F.; ALMODARES, A.). Tehran, Iran, 2008.

REXEN, F. The non-food dimension in EEC research programmes. **Ind. Crops Prod.**, v.1, p.1-4, 1992.

RIBEIRO FILHO, N.M.; ALVES, R.N.; FLORÊNCIO, I.M.; FLORENTINO, E.R.; DANTAS, J.P. Viabilidade de utilização do caldo do sorgo sacarino para a produção de álcool carburante (ETANOL). In: I CONGRESSO NORTE NORDESTE DE QUÍMICA, 1., 2007, Natal. **Anais...**, 2007.

RIBEIRO FILHO, N.M.; FLORÊNCIO, I.M.; ROCHA, A.S.; DANTAS, J.P.; FLORENTINO, E.R.; SILVA, L.H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302p.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J.S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, p.431-437, 2001.

RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A.F.S.; OLIVEIRA, R.P.; OLIVEIRA, E.R.; ROSA, B.; SOARES, T.V.; MELLO, S.Q.S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro (*sorghum bicolor* (L.) moench) submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.7, n.1, p.37-48, 2006.

ROMAN, G.H.V.; GOSSE, G.; HALL, D.O.; ROMAN, A.M.; ION, V. Researches on sweet sorghum productivity in the South Romanian. **Plain Proceedings of First AFITA Conference**, Japan, 1998, p.24-26.

RÖMER, W.; AUGUSTIN, J.; SCHILLING, G. The relationship between phosphate absorption and root length in nine wheat cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.11, p.199-201, 1988.

ROONEY, W.L. Sorghum improvement – integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. **Advances in Agronomy**, Mayland Heights, v.83, p.37-109, 2004.

SANTOS, F.G. dos. **Sorgo sacarino**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

SCHAFFERT, R.E. Curvas de maturação de várias cultivares de sorgo sacarino para produção de etanol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 14, 1982, **Anais...** Florianópolis, EMPASC, 1982, 122p.

SCHAFFERT, R.E. **Determinação do período útil de industrialização para o sorgo sacarino**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. 1986, p.155-157. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Milho e Sorgo. 1980-1984.

SHCAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial: Sistema BRS1G: Planejamento industrial**. In: MAY, A. et al. (Ed.) – **Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012, p.85-92 (Documentos, 139). Disponível em: WWW.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/938275/1/Doc1391.pdf. Acesso em: 18 nov. 2013.

SHARIEF, A.E.; ATTIA, A.N.; SALAMA, A.A.; MOUSA, A.E. Effect of nitrogen fertilizer sources and time splitting on root yield and quality of sugar beet in North Delta. 4th **Scient. Conf. Agric. Sci.**, Assiut, 2004, 2:856-866.

SHAW, W.C. Integrated weed management systems technology for pest management. **Weed Sci.**, v.30, p.2-12, 1982.

SHEEN, J. Metabolic repression of transcription in higher plants. **Plant Cell**, Rockville, v.2, p.1027-1038, 1990.

SHIPLEY, P. Net assimilation rate, specific leaf area and mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate. A meta-analysis. **Fun. Ecol.**, 2006, v.20, p.565-574.

SHIVAY, Y.S.; CHEN, J.H.; DING, S.R. Genotypic variation for potassium accumulation and utilization efficiency in barley under rainfed potassium stress conditions. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v.51, n.3, p.267-280, 2003.

SHOWEMIMI, F.A.; KIMBENG, C.A.; ALABI, S.O. Genotypic response of sorghum cultivars to nitrogen fertilization in the control of *Striga hemonthica*. **Crop Protec.**, 2002, v.21, p.867-870.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**. Philadelphia, v.4, n.3, p.289-302, 1981.

SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p.257-264, 1996.

SILVA, P.C.S.; LOVATO, C. Análise de crescimento e rendimento em sorgo granífero em diferentes manejos com nitrogênio. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.15, n.1, p.15-33, 2008.

SILVA, J.G.; SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GONÇALVES, J.C.; GOLDEMBERG, J. Energy balance for ethyl alcohol production. **Crops Science**, Madisn, v.201, p.903-906, 2011.

SINARE, B.T.; WANI, A.G.; ANDHALE, R.P. Uptake of NPK as influenced by split application of nitrogen in sweet sorghum genotypes. **Journal of Maharashtra Agriculturalm**, Punev.30, n.2, p.207-208, 2005.

SINARE, B.T.; WANI, A.G.; ANDHALE, R.P.; SHETE, B.T. Response of sweet sorghum to split application of nitrogen. **Annals of Plant Physiology**, v.20, n.2, p.220-222, 2006.

SINGH, S.; SHIVAY, Y.S. Coating of prilled urea with ecofriendly neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) formulations for efficient nitrogen use in hybrid rice. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v.51, n.1, p.53-59, 2003.

SINGH, T.; SHIVAY, S.; SINGH, S. Effect of date of transplanting and nitrogen on productivity and nitrogen use indices in hybrid and non-hybrid aromatic rice. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v.52, n.3, 245-252, 2005.

SMITH, G.A.; BUXTON, D.R. Temperature zone sweet sorghum ethanol production potential. **Bioresour. Technol.** Amsterdam, v.43, p.71-75, 1993.

SMITH, C.W.; FREDERIKSEN, R.A. **Sorghum**: Origin, history, technology and production. John Wiley and Sons, New York, 2000, 840p.

SOMANI, R.B.; ALMODARES, A.; SHIRVANI, M. Preliminary studies on sweetner production from sorghum grains. **Ann. Plant Physiol.**, Ghaziabad, v.9, p.146-148, 1995.

SONNENTAG, O.; TALBOT, J.; CHEN, J.M.; ROULET, N.T. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. **Agric. For. Meteo.**, 2007, n.144, p.200-212.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., 2008, Brasília, DF. **Anais...**, 2008.

SOUZA, C.C.; DANTAS, J.P.; SILVA, S.M.; SOUZA, V.C.; ALMEIDA, F.A.; SILVA, L.E. Produtividade do Sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.25, n.3, 2005.

SOWINSKI, J.; LISZKA-PODKOWA, A. Fresh and dry matter yield quantity and quality of maize (*Zea mays* L.) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) on sandy soil depending on nitrogen fertilization. **Acta Scientiarum Polonorum – Agricultura**, Bydgoszcz, v.7, n.4, p.105-115, 2008.

STALS, H. INZE, D. When plant cells decide to divide. **Trends Plant Sci.**, 2001, v.6, p.359-364.

STETUDO, P.; KATERJI, N.; PUERTOS-MALINA, H.; U'UNLU, M.; MASTRORILLI, M.; RANA, G. Water-use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions gas-exchange investigations at leaf and canopy scales. **Field Crops Res**, v.54, p.221-234, 1998.

STEVENSON, F.J. 1985. The nitrogen cycle in soil: global and ecological aspects. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Cycles of Soils**. New York: Wiley Int. Sci. Pub, 1985, p:106-153.

STEWART, D.W.; DWYER, L.M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v.39, p.422-427, 1999.

STICKLER, F.C.; WEARDEN, S.; PAULI, A. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p.187-188.

SUBAGIO, I. The variation in sweet sorghum clarified juice quality as a result of application of different N source. **Berita – Pusat Penelitian Perkebunan Gula Pasuruan**, Indonesia, v.22, p.49-52, 1998.

SUDHARSAN, P.; KALYANASUNDARAM, D.; KAVITHA, S. Water use efficiency and economics of irrigation and nutrient management in sweet sorghum. **Research on Crops**, Hyderabad, v.9, n.1, p.24-26, 2008.

SUMANTRI, A.; LESTARI, W.D. Yield response of sweet sorghum to nitrogen and phosphate fertilization on alluvial soil. **Majalah Penelitian Gula**. Pasuruan, Indonesian, v.33, p.8-12, 1997.

TAHERZADEH, M.J.; KARIMI, K. **Bioethanol**: market and production process. In: NAG, A. (Ed.). *Biofuels Refining and Performance*. The Mc Graw – Hill, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Plant Physiology**. Redwood City, Calif: Benjamim / Cummings Publishing Company, 1991, 565p.

TEETOR, V.H.; DUCLOS, D.V.; WITTENBERG, E.T.; YOUNG, K.M.; CHAWHUAYMAK, J.; RILEY, M.R.; RAY, D.T. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.34, n.2, p.1293-1300, 2011.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.17, n.3, p.221-229, 1997.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; NICOLELLA, G.; ZARONI, M.H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34,n.9, p.1601-1606, 1999.

TELI, C.B.; MALLIKARJUN, H.; KHANURE, S.K. Effect of N and K application and crushing period on fresh millable cane yield and loss in millable cane weight of sweet sorghum. **Cooperative Sugar**, New Delhi, v.30, n.4, p.287-290, 1998.

TENENBAUM, D.J. Food vs. fuel: Diversion of crops could cause more hunger. **Environ. Health Perspect.**, v.116, p.254-257, 2008.

TESSO, T.T.; CLAFLIN, L.E.; TUINSTRA, M.R. Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. **Crop Sci.**, Madison, v.45, p.645-652, 2005.

TEW, T.L.; COBIL, R.M.; RICHARD, J.E.P. Evaluation of sweet sorghum and sorghum x sudangrass hybrids as feedstocks for ethanol production. **Bioenerg. Res.**, v.1, p.147-152, 2008.

THAKUR, N.S.; KUSHWAHA, B.B.; SINHA, N.K.; UPADHYA, S.N. **Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development**, Hyderabad, v.24, n.1, p.34-38, 2009.

THIRAPORN, R.; GEISLER, G.; STAMP, P. Effects of N fertilization on yield and yield components of tropical maize cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v.159, p.9-14, 1987.

TIAN, Y.Z.; ZHAO, L.X.; MENG, H.B.; SUN, L.Y.; YAN, J.Y. Estimation of un-used land potential for biofuels development in the People's Republic of China. **Appl. Energy**, v.86, p.77-85, 2009.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. 1985. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York: MacMilan Publ., 754p.

TOMAZ, M.A.; SILVA, S.R.; SAKIYAMA, N.S.; MARTINEZ, H.E.P. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de Coffea arábica. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.27, p.885-892, 2003.

TRIPATHI, R.Y.; BHAN, S. Effects of level and method of nitrogen application and moisture conservation practices on growth and yield of rainfed sorghum (Sorghum bicolor) under light textured, eroded soils of central Uttar Pradesh. **Ind. J. Agron.**, 1995, 40:47-50.

TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. Cultivation of sweet sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. **Plant Prod. Sci.**, v.7, p.442-448, 2004.

TSUNI, Y.; FUJISE, K. Studies on the dry matter production of sweet potato. **Crop Sci. Society of Japan Proceeding**, Tokio, n.33, p.230-235, 1965.

TURGUT, I.; BLBL, U.; DUMAN, A.; ACKGOZ, E. Production of sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. **Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science**, Stockholm, v.55, n.3, p.236-240, 2005.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. N and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**, Madison, v.35, p.183-190, 1995a.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. N deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, Madison, v.35, p.1376-1383, 1995b.

VARLET-BRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H. (Eds.); **Crop structure and light microclimate**. Paris: INRA, 1993. 518p.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSI, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.120, p.38-46, 2011.

VELOSO, C.A.C. **Deficiências de macro e micronutrientes e toxidez de alumínio e manganês na pimenteira-do-reino (Piper nigrum L.)**, 1993. 145p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1993.

VENUGOPALAN, M.V.; HEBBAR, K.B.; TIWARY, P.; CHATTERJI, S.; RAMAMURTHY, V.; CHALLA, O.; SONUNE, B.A. Productivity and nitrogen use efficiency parameters in cotton cultivars with varying N levels and soil types under rainfed conditions. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v.55, n.3, p.383-391, 2007.

VERMERRIS, W. Survey of genomics approaches to improve bioenergy traits in maize, sorghum and sugarcane. **Journal of Integrative Plant Biology**, West Sussex, v.53, n.2, p.105-119, 2011.

VIÉGAS, I.J.M.; BATISTA, M.M.F.; FRAZÃO, D.A.C.; CARVALHO, J.G.; SILVA, J.F. Avaliação dos teores de N,P,K,Ca, Mg e S em plantas de graviola cultivadas em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n.38, p.17-28, 2002.

VIEIRA JUNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; BERNARDES, M.S.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; MARTIN, T.N. Metodologia para estimativa da área foliar de genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.5, n.2, p.182-191, 2006.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.91-96, 1984.

XIANG-KUN, Y.; HAI-YAN, T.; SHU-BIN, C.; ZHI-GANG, L.; TAO, L. Effect of different planting density on the sugar accumulation in sweet sorghum. **Southwest China J. of Agric. Sci.**, v.22, n.1, p.60-63, 2009.

XIONG, S.; ZHANG, Q.; ZHANG, D.; OLSSON, R. Influence of harvest time on fuel characteristics of five potential energy crops in northern China. **Bioresour. Technol.**, Amsterdam, v.99, 479-48, 2008.

WANG, C.W.; TILLBERG, J.E. Effects of nitrogen deficiency on accumulation of fructan and fructan metabolizing enzymes activities in sink and source leaves of barley (*Hordeum vulgare*). **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.97, p.339-345, 1996.

WANJARI, S.S.; MAHAKULKAR, B.V.; PATIL, D.B.; SHEKAR, V.B.; PANDRANGI, R.B. Yield and juice quality of sweet sorghum (cv. SSV 84) under varying levels N and P2O5. **P.K.V. Res. Journal**, v.20, n.1, p.78-80, 1996.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of the field crops. I – Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. **Annals of Botany**, London, n.11, v.41, p.41-76, 1947.

WATSON, D.J. The physiological basic of variation in yield. **Advances in Agronomy**. Maryland Heights, v.4, p.101-145, 1952.

WATSON, D.J.; WILSON, J.H.; FORD, M.A.; FRENCH, S.A.W. Changes with age in the photosynthetic and respiratory components of the net assimilation rates of sugar beet and wheat. **New Phytol.**, v.65, n.4, p.500-508, 1966.

WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Rem. Sens. Rev.**, 1990, n.5, p.31-43.

WIENEKE, J. Phosphorus efficiency and phosphorus remobilization in two sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.123, p.139-145, 1990.

WOODS, J. **Integrating Sweet sorghum and sugarcane for bioenergy: Modelling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe**, 2000. 249p. Ph.D. Thesis (Doctor of Philosophy) - King's College, London, University of London, London, 2000.

WOOLEY, R.; RUTH, M.; SHECHAN, J.; IBSEN, K. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis

and enzymatic hydrolysis: Current and futuristic seminars. **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**, 1999.

WOOLEY, R.; RUTH, M.; GLASSNER, D.; SHECHAN, J. Process design and costing of bioethanol technology: a tool for determining the status and direction of research and development. **Biotechnology Progress**, v.15, p.794-803, 1999.

WORLEY, J.W.; CUNDIFF, J.S.; VAUGHAN, D.H.; PARRISH, D.J. Influence of sweet sorghum spacing on stalk pith yield. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.36, p.133-139, 1991.

WORLEY, J.W.; CUNDIFF, J.S.; VAUGHAN, D.H. Potential economic return from fiber residues produced as by-products of juice expression from sweet sorghum. **Biores. Technol.**, Amsterdam, v.41, p.153-159, 1992.

WORTMANN, C.S.; LISKA, A.J.; FERGUSON, R.B.; LYON, D.J.; KLEIN, R.N.; DWEIKAT, I. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. **Agron. J.**, v.102, p.319-326, 2010.

WRIGHT, J.D. Ethanol from biomass by enzymatic hydrolysis. **Chemical Engineering Progress**, New York, p.62-74, 1988.

WYMAN, C.E. Biomass ethanol: technical progress, opportunities, and commercial challenges. **Annual Review of Energy and the Environment**. Palo Alto, v.24, p.189-226, 1999.

WYMAN, C.E. Ethanol Fuel. In: CUTLER, J. Cleveland (Ed.), **Acyclopedia of Energy**. New York: Elsevier Inc., 2004, p.541-555.

ZAMBOLIM, L. 1998. **Estratégias de manejo integrado de doenças**. Workshop A interface solo-raiz (Rizosfera) e relações com a disponibilidade de nutrientes, nutrição e as doenças das plantas. POTAFOS. 40p.

ZHAO, S.J.; ZHANG, S.Z.; REN, W.T.; TANG, L.Z. Preliminary experiment of leaf cutting device for sweet sorghum in field. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, Ontario, v.10, n.4, p.80-84, 1994.

ZHAO, Y.L.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; WANG, X.; OSMAN, A.; XIE, G.H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.111, p.5-64, 2009.

ZHONG, C.; CAO, Y.X.; LI, B.Z.; YUAN, Y.J. Biofuels in China: past, present and future. *Biofuels*, **Bioproduts & Biorefining**, China, v.4, p.326-342, 2010.