

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**ARLINDO FABRÍCIO CORRÊIA**

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO EM RESPOSTA À  
APLICAÇÃO DE VINHAÇA NO OESTE DO PARANÁ**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ  
2016**

**ARLINDO FABRÍCIO CORRÊIA**

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO EM RESPOSTA À  
APLICAÇÃO DE VINHAÇA NO OESTE DO PARANÁ**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Armin Feiden

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C824a

Corrêia, Arlindo Fabrício

Avaliação de genótipos de sorgo sacarino em resposta à aplicação de vinhaça no Oeste do Paraná./Arlindo Fabrício Corrêia. Marechal Cândido Rondon, 2016.

49 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Armin Feiden

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Agronomia

1. Biofertilizante. 2. Produção de etanol. 3. Biomassa. 4. Silagem. I. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de. II. Feiden, Armin. III. Lana, Maria do Carmo. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.

CDD 20.ed. 633.62

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejo – CRB 9<sup>a</sup>/965

ARLINDO FABRICIO CORRÊIA

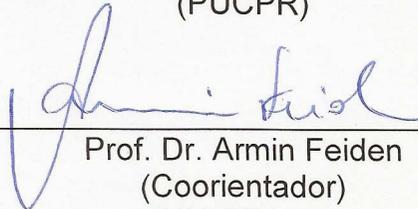
**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO EM RESPOSTA À  
APLICAÇÃO DE VINHAÇA NO OESTE DO PARANÁ**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de fevereiro de 2016



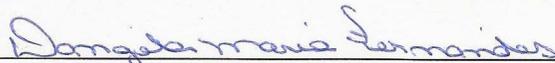
Prof. Dr. Nelson Massaru Fukumoto  
(PUCPR)



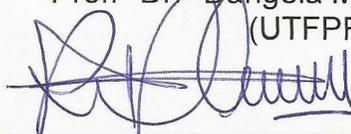
Prof. Dr. Armin Feiden  
(Coorientador)  
(UNIOESTE)



Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Lana  
(Coorientadora)  
(UNIOESTE)



Prof.ª Dr.ª Dangelma Maria Fernandes  
(UTFPR)



Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira  
(Orientador)  
(UNIOESTE)

*À minha amada Caroline Stefany Depieri;*

*À minha mãe Helena (in memoriam) e à minha avó Helena (in memoriam);*

*Às minhas queridas irmãs Daniele e Gisele;*

*Dedico este trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, agradeço pela oportunidade da realização deste trabalho, por sua confiança, orientação e principalmente por sua amizade.

Aos Professores e Coorientadores Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana e Dr. Armin Feiden, por todo o apoio dedicado. Aos amigos docentes Dr. Nardel Luiz Soares da Silva e Dr. Wilson João Zonin por toda contribuição e suporte para a realização de mais esta etapa.

À Caroline Stefany Depieri, pela compreensão e carinho, agradeço com muito amor a quem esteve presente em todos os momentos deste período. À Lurdes e Antônio Depieri, e toda família Depieri pelo apoio.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – PPGA, aos professores pela experiência e ensinamentos compartilhados com dedicação e compromisso, aos colaboradores e técnicos pelo auxílio, atenção e disponibilidade sempre que necessário. À secretaria da coordenação do PPGA, em especial à Leila Werlang e Ana Paula Rufino.

Ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável – PPGDRS e à secretaria Lizete Maria Eckstein Fredo, por todo apoio sempre que necessário.

Agradeço aos técnicos e engenheiros agrônomos Dr. Jucenei Fernando Frandoloso e Marcelo Lang por todo o acompanhamento e auxílio na elaboração de experimentos e análises laboratoriais. Ao prof. Vanildo Heleno Pereira pela colaboração e apoio nas atividades e trabalhos realizados.

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, pela disponibilização do espaço físico para realização de experimentos e análises, assim como aos alunos, coordenadores, funcionários e docentes, especialmente Dr. Jacir Daga, Dr. João Edson Kaefer, Dr. Renato Tratch, Dr. Nelson Massaru Fukumoto, Dr. Alfredo Richart e Alexandre Luís Müller.

Ao Grupo de Pesquisas em Manejo na Aquicultura – GEMAQ, pela amizade e pela destreza na realização de diferentes projetos de Pesquisa e Extensão, entre estes aos professores Dr. Aldi Feiden, Dr. Wilson Rogério Boscolo, Dr. Altevir Signor,

Dr. Arcângelo Signor e Dr. Fábio Bittencourt e a todos os pesquisadores que já fizeram parte deste grupo.

Aos companheiros de campo e que foram vitais para a condução dos experimentos, Antônio Cesar Godoy, Vinícius Bridi, Vagner Geronimo, Fábio José Verri Burin, Vitor Sekine, Jeferson Tiago Piano e Marcos Cesar Mottin. Ao Magno Porfírio pela grande contribuição na condução de análises bromatológicas e à técnica de laboratório Zélia Salete de Souza por sua disponibilidade e atenção na condução das análises.

A todos os colegas do PPGA pela vivência e experiências realizadas, em especial Gustavo Ferreira Coelho, Daniel Schwantes, Ricardo Felipe Braga de Sousa, Luiz Cláudio Offemann, André Gustavo Battistus e Marcelo Gonçalves dos Santos.

Aos amigos de longa data, Alberto Genevcius Filho, André Comassetto, Vilmarson 'Popi' Lins Weirich, Fábio Arnhold, Vitor Caminha Faustino Dias, Émerson Gasparotto, Éder Cadoná e Moisés Branco Benedito.

Ao Instituto Água Viva de Pesquisa e Extensão em Aquicultura, Meio Ambiente e Processamento de Recursos Pesqueiros, em especial à Douglas Jardelino de Camargo pela disponibilização de recursos materiais para realização da pesquisa.

Ao prof. Dr. José Dilson de Oliveira e ao técnico Deoclécio José Barilli por possibilitar a utilização do EAA no laboratório da FUNTEC/UNIOESTE em Toledo-PR.

Às empresas CERES SEMENTES DO BRASIL e USAÇUCAR – Usina Santa Terezinha, por acreditar na parceria e disponibilizar material para a realização dos experimentos. Um agradecimento especial aos engenheiros agrônomos Dr. José Geraldo de Abreu Sousa Júnior e Rafael Menezes Pereira, por disponibilizar as sementes utilizadas nesta pesquisa. Ao Sr. Antônio Sperandio pelo suprimento da vinhaça utilizado nos experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante a realização do Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal.

A todos que estiveram presentes e acompanharam esse período, agradeço.

“He llegado a entender que no hay nada que aprender del éxito  
Pienso que todo se aprende del fracaso  
Así es que, bueno me equivoco lo más posible”

David Bowie

## RESUMO

CORRÊIA, Arlindo Fabrício. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro – 2016. **Avaliação de genótipos de sorgo sacarino em resposta à aplicação de vinhaça no oeste do Paraná.** Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Armin Feiden. Coorientadora: Maria do Carmo Lana.

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta potencial agroenergético e possibilidade de utilização multipropósito no segmento agropecuário, porém, ainda não tem sido adotado em larga escala pelo produtor rural tampouco por empreendimentos sucroalcooleiros. Este trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade, a composição nutricional e o ensilamento de sorgo sacarino como resultado da adubação com vinhaça. A pesquisa foi conduzida na estação experimental da PUCPR, câmpus Toledo-PR, durante os meses de novembro de 2014 a agosto de 2015 utilizando os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. O delineamento experimental a campo foi em blocos casualizados em esquema fatorial com 3 tratamentos adicionais (3x5+3) com 4 repetições, totalizando 72 parcelas. O fator biofertilizante foi constituído de vinhaça *in natura* nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e os tratamentos adicionais compostos de aplicação de adubação química convencional. As variáveis de produtividade foram: comprimento do colmo (CCo), diâmetro do colmo (DCo), massa fresca do colmo (MFCo), massa fresca do caldo (MFCa), volume do caldo (VCa), graus brix do caldo (°BRIX), massa seca da inflorescência (MSI), massa seca do colmo (MSCo), massa seca de folhas (MSF) e massa seca total (MST). Para avaliação do estado nutricional analisou-se a concentração dos macro e micronutrientes N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn. O ensilamento foi realizado aos 170 DAS, com delineamento experimental em blocos com esquema fatorial triplo (genótipos x adubação x inoculação) com 3 repetições totalizando 54 parcelas. Aos 95 dias após o fechamento dos silos foram coletadas amostras para análise de pH, secagem e quantificação dos teores de massa seca (MS%), proteína bruta (PB %MS), extrato etéreo (EE %MS), cinzas (%MS), fibras em detergente neutro (FDN %MS), fibras em detergente ácido (FDA %MS), lignina (LIG %MS), nutrientes digeríveis totais (NDT), digestibilidade da matéria seca (DMS), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM). Os resultados indicam os genótipos como principal fonte de variação, com diferentes resultados na produtividade de caldo para BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Resultado semelhante foi observado quanto ao potencial de sólidos solúveis totais com médias de 19,205 °Brix, 14,670 °Brix e 8,579 °Brix. Sob a produtividade de biomassa os melhores rendimentos foram observados para CR-1342 (42.960,4 kg ha<sup>-1</sup>) seguido de CR-1339 (31.788,8 kg ha<sup>-1</sup>) e BRS-511 (18.884,0 kg ha<sup>-1</sup>) para MST. A diagnose foliar não demonstrou diferença significativa da aplicação de vinhaça em comparação à adubação química, apenas para um incremento no teor de Mg quando utilizado o biofertilizante, prevalecendo as diferenças de resultados entre os genótipos. Os resultados bromatológicos indicam boa qualidade dos híbridos CR-1339 e CR-1342, porém, uma maior digestibilidade para o cultivar BRS-511, não sendo observado diferença entre o fator adubação e inoculação.

**Palavras-chave:** Biofertilizante. Produção de etanol. Biomassa. Silagem.

## ABSTRACT

CORRÊIA, Arlindo Fabrício. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February – 2016. **Sweet sorghum genotypes evaluation in response to vinasse application in western Paraná.** Advisor: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-Advisor: Maria do Carmo Lana. Co-Advisor: Armin Feiden.

The sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) has potential agro-energy and the possibility of multipurpose use in the agricultural sector, however, it has not been widely adopted by farmers nor for ethanol production plants. This study aimed to evaluate the productivity, nutritional composition and silage sorghum as a result of fertilization with vinasse. The research was conducted at the experimental station of PUCPR Câmpus Toledo-PR during the months of november 2014 to august 2015 using the BRS-511, CR-1339 and CR-1342 genotypes. The experimental design the field was a randomized block in a factorial design with 3 additional treatments (3x5+3) with 4 repetitions, totaling 72 plots. The biofertilizer factor consisted of vinasse *in natura* at doses of 0, 50, 100, 150 and 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and additional treatments of conventional chemical fertilizer application compounds. Productivity variables were: stem length (CCo), stem diameter (DCO), fresh pasta stem (MFCo), fresh pasta broth (MFCa), broth volume (VCa), degrees brix of juice (°Brix), dry mass of inflorescence (MSI), dry matter of the stem (MSCo), dry mass of leaves (MSF) and total dry matter (MST). To assess the nutritional status analyzed the concentration of macro and micro nutrients N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe and Zn. The silage was held to 170 DAS (days after sowing), with experimental design in blocks with triple factorial (genotype x fertilization x inoculation) with three repetitions totaling 54 plots. At 95 days after the closing of the silage were collected samples for pH analysis, drying and quantification of dry matter content (MS%), crude protein (PB% MS), ether extract (EE% MS), ash (%MS), neutral detergent fiber (FDN% MS), fiber in acid detergent (FDA% MS), lignin (LIG% MS), total digestible nutrients (NDT), dry matter digestibility (DMS), digestible energy (ED) and energy metabolizable (EM). The results indicate the genotypes as the main source of variation, with different results in broth productivity for BRS-511, CR-1339 and CR-1342. Similar results were observed for total soluble solids potential averaging 19.205 °Brix, 14.670 °Brix and 8.579 °Brix. The biomass yield the best results were obtained for CR-1342 (42,960.4 kg ha<sup>-1</sup>) followed by CR-1339 (31,788.8 kg ha<sup>-1</sup>) and BRS-511 (18,884.0 kg ha<sup>-1</sup>) for MST. Leaf analysis showed no significant difference in the application of vinasse compared to chemical fertilizer, only to an increase in Mg content when using the biofertilizer, prevailing differences in results between genotypes. The bromatological results indicate good quality of CR-1339 and CR-1342 hybrids, however, a higher digestibility for the BRS-511 grow crops, not observable difference between the factor fertilization and inoculation.

**Keywords:** Biofertilizer. Ethanol yield. Biomass. Silage.

**LISTA DE SÍMBOLOS**

BEN	Balanço Energético Nacional
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCo	Comprimento do Colmo
CERES	Ceres Sementes do Brasil
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIN	Cinzas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CV	Coeficiente de Variação
DAS	Dias Após a Semeadura
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCo	Diâmetro do Colmo
DMS	Digestibilidade da Matéria Seca
ED	Energia Digestível
EE	Extrato Etéreo
EM	Energia Metabolizável
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
FDA	Fibra em Detergente Ácido
FDN	Fibra em Detergente Neutro
GEE	Gases de Efeito Estufa
LIG	Lignina
MFCa	Massa Fresca do Caldo
MFCo	Massa Fresca do Colmo
MS	Massa Seca
MSCo	Massa Seca de Colmo
MSF	Massa Seca de Folhas
MSI	Massa Seca de Inflorescência
MST	Massa Seca Total

NDT	Nutrientes Digeríveis Totais
°BRIX	Graus Brix
PB	Proteína Bruta
PIB	Produto Interno Bruto
PROALCOOL	Programa Nacional do Álcool
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
SB	Soma de Bases
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
USAÇUCAR	Usina Santa Terezinha
VCa	Volume de Caldo

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Mapa de localização da área de estudo. Toledo, 2016 .....	12
<b>Figura 2.</b>	Demarcação e semeadura das parcelas experimentais (A) e vinhaça armazenada para utilização no experimento (B) .....	14
<b>Figura 3.</b>	Estabelecimento da cultura em 50 DAS (A) e início do florescimento (B).. .....	15
<b>Figura 4.</b>	Trituração do material ensilado (A) e espessura das partículas (B).....	17
<b>Figura 5.</b>	Dados meteorológicos para temperatura (mínimas e máximas em °C) e precipitação diária (mm) no período de realização do experimento em DAS (dias após a semeadura). Toledo, 2015.....	20
<b>Figura 6.</b>	Produtividade média de massa fresca de caldo (MFCa) em kg ha <sup>-1</sup> em função às doses de vinhaça (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.....	31
<b>Figura 7.</b>	Produtividade média em volume de caldo (VCa) em L ha <sup>-1</sup> em função às doses de vinhaça (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.....	32
<b>Figura 8.</b>	Valores médios de diâmetro do colmo à 150 cm da base (DCo-150 cm) em mm em função às doses de vinhaça (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Teores de macro e micronutrientes para um bom estado nutricional da cultura do sorgo .....	8
<b>Tabela 1.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis N, P, K e Mg, além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015 .....	21
<b>Tabela 2.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis Ca, Fe, Mn e Zn, além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015.....	22
<b>Tabela 3.</b>	Valores médios para as variáveis N ( $\text{g kg}^{-1}$ ), P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), K ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) seguido do teste de médias quando significativo para doses e médias do tratamento adicional. Toledo, 2015.....	23
<b>Tabela 4.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis MFCa (massa fresca de caldo), VCa (volume de caldo), °BRIX (graus brix), CCo (comprimento de colmo) e DCo (diâmetro de colmo à 20 e 150 cm da base) além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015.....	25
<b>Tabela 5.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total), além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015.....	26
<b>Tabela 6.</b>	Valores médios para as variáveis °BRIX (graus brix), CCo (comprimento de colmo) e DCo-20 (diâmetro do colmo à 20 cm) seguido do teste de médias quando significativo para doses e tratamento adicional. Toledo, 2015.....	27
<b>Tabela 7.</b>	Valores médios para as variáveis MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total), seguido do teste de médias quando significativo para doses e médias do tratamento adicional. Toledo, 2015.....	29

<b>Tabela 8.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis pH, MS (matéria seca total %), EE (extrato etéreo % MS) e PB (proteína bruta % MS). Toledo, 2015.....	32
<b>Tabela 9.</b>	Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis FDN (fibra em detergente neutro % MS), FDA (fibra em detergente ácido % MS), LIG (lignina % MS) e CIN (cinzas % MS). Toledo, 2015.....	34
<b>Tabela 10.</b>	Valores médios para as variáveis pH, MS (matéria seca %), EE (extrato etéreo %MS) e PB (proteína bruta %MS) para os fatores inoculação, genótipo e adubação. Toledo, 2015.....	35
<b>Tabela 11.</b>	Valores médios para as variáveis FDN (fibra em detergente neutro %MS), FDA (fibra em detergente ácido %MS), LIG (lignina %MS) e CIN (cinzas %MS) para os fatores inoculação e genótipo. Toledo, 2015.....	37
<b>Tabela 12.</b>	Valores médios para as variáveis NDT (nutrientes digeríveis totais), DMS (digestibilidade da matéria seca), ED (energia digestível) e EM (energia metabolizável). Toledo, 2015.....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1	SORGO SACARINO.....	4
2.2	AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE SORGO SACARINO.....	7
2.3	APLICAÇÃO DE VINHAÇA COMO BIOFERTILIZANTE.....	8
2.4	SILAGEM DE SORGO SACARINO.....	9
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
3.1	DIAGNOSE FOLIAR E VARIÁVEIS ANALISADAS.....	14
3.2	VARIÁVEIS RELACIONADAS A PRODUTIVIDADE.....	15
3.3	VARIÁVEIS RELACIONADAS À SILAGEM.....	16
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>19</b>
4.1	VARIÁVEIS RELACIONADAS À DIAGNOSE FOLIAR.....	20
4.2	VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE.....	23
4.3	PRODUÇÃO DE SILAGEM.....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente por consumo de energias renováveis despertou a composição de um novo cenário para o aproveitamento de fontes energéticas no início do século XXI. Esse incremento na diversificação de fontes de energia considera o propósito de suprir e desenvolver as atividades humanas nos diferentes segmentos da sociedade. Para vencer barreiras produtivas, projetos inovadores buscam agregar conhecimento e tecnologia para o aproveitamento de fontes consideradas renováveis, das quais destacam-se as energias: solar, de biomassa, hidráulica e eólica.

De acordo com o BEN (BRASIL, 2015), o modelo energético adotado pelo governo brasileiro demonstra, de maneira histórica, uma ampla utilização de energias renováveis, atingindo no ano de 2013 cerca de 39,4% do total da demanda, especialmente energia hidráulica (11,5%) e de produtos da cana-de-açúcar (15,7%).

Dado este perfil, os biocombustíveis estimulam o balanço positivo do PIB, sobretudo à cadeia do agronegócio, agregando impactos, segundo Christofolletti et al. (2013) positivos e negativos além de serem relacionados a fatores ambientais, sociais e econômicos (GRISI et al., 2012). Especialmente por suas características carburantes, o etanol tem sido utilizado como alternativa aos combustíveis hidrocarbonados derivados do petróleo, agregando uma interessante característica ao abastecimento de combustíveis líquidos e controle de preços. Assim, o cultivo de plantas para fins energéticos, ou seja, para a produção de biocombustíveis é um fato de expressivo interesse comercial e estratégico para o país.

O estado do Paraná caracteriza-se por uma agricultura de grande potencial produtivo e especialista na produção de *commodities*, entre estes, grãos de importância comercial como soja e milho. Aparece como um dos principais produtores de derivados da cana-de-açúcar, participando com cerca de 8,5% de açúcar e 5,5% de etanol (anidro e hidratado) no cenário nacional (CONAB, 2015).

A cogeração de energia, onde ocorre aproveitamento mútuo do bagaço (resíduo) e biogás (vinhaça) aparece como uma nova proposta para diminuição de custos de produção e aproveitamento residual em energia renovável, sendo pela queima de biogás em geradores para produção direta de eletricidade ou como combustíveis na combustão em caldeiras para utilização da energia térmica.

Contudo, o segmento sucroalcooleiro busca alternativas para o equilíbrio entre os custos e a produção de matéria-prima, baseado principalmente, na geração de combustível de 1ª geração obtido da biomassa de cana-de-açúcar que acarreta na produção de resíduos aproveitáveis.

De acordo com Teixeira e Carneiro (2013) o etanol é um combustível que pode ser produzido por meio de matérias-primas fósseis ou renováveis. Dessa maneira pode-se utilizar espécies vegetais que apresentam características sacarídeas, amiláceas e de biomassa lignocelulósica (DURÃES, 2012).

A proposta deste estudo é permear questões de interesse da agroindústria sucroalcooleira como do aproveitamento da biomassa residual e de alternativas ao incremento na produção de etanol. A primeira questão provém da utilização do biofertilizante de vinhaça na adubação de áreas de cultivo diferenciados e, em segundo, a manutenção da produção de etanol em período da entressafra da cana-de-açúcar com a produção e processamento de sorgo sacarino. As duas possibilidades podem auxiliar na elevação dos índices de aproveitamento das usinas e agregar novas funcionalidades à cadeia agroindustrial.

Há, ainda, a possibilidade de uso múltiplo do sorgo sacarino como forragem para alimentação animal, podendo auxiliar na tomada de decisão para a inserção da cultura no segmento agropecuário.

Mesmo conhecendo-se o potencial biofertilizante da vinhaça, especialmente em canaviais, não foram encontradas citações na literatura sobre a aplicação de vinhaça no cultivo de sorgo sacarino.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade de sorgo sacarino em resposta à adubação do solo com vinhaça proveniente da produção de etanol de cana-de-açúcar, investigando por meio de diagnose foliar o estado nutricional da cultura, variáveis relacionadas à produtividade e a qualidade bromatológica do ensilamento da biomassa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de sustentabilidade ganhou força no final do século XX, trazendo para os segmentos agrícolas um novo olhar sob o adequado manejo das áreas cultivadas e o impacto desta atividade ao planeta. Termos como agricultura conservacionista são adotados atualmente para orientar ações e práticas na condução de uma agricultura sustentável, considerando que, o agronegócio participa com 33% do PIB brasileiro, cerca de 42% das exportações e 37% dos empregos (DENARDIN et al., 2014).

Norse (2012) salienta que a agricultura é uma das maiores fontes antropogênicas de emissões de GEE e ainda poucas autoridades destacam este fato em suas propostas e programas para o desenvolvimento da agricultura de baixo carbono. Esta por si, compreende a necessidade de ações como forma de atenuar a geração de CO<sub>2</sub> atmosférico e inserir técnicas de manejo que propiciem a fixação do carbono no solo (CERRI et al., 2009).

Mandlebaum e Nriagu (2011) afirmam que o sequestro de carbono em solos tropicais apresenta um interessante potencial para mitigar o aquecimento global e aumentar a produtividade agrícola. As conclusões de Norse (2012) em relação às estratégias de redução de GEE são discutidas através de avaliações sobre como agricultores poderão responder a estas oportunidades, na desmistificação de barreiras institucionais e adoção de tecnologias e práticas agrícolas alternativas aliadas ao incremento no desenvolvimento de tecnologias mais robustas e com aumento do custo-benefício para o mercado local.

Contudo, estes preceitos devem orientar a busca por alternativas simples e disponíveis e desenvolver propostas que possam ser adotadas pelo agronegócio. Entre estes, o mercado de biocombustíveis já dotado como uma realidade e que mostra-se de suma importância para o desenvolvimento econômico do país.

O sucesso do etanol como combustível hidrocarbonado deu ao Brasil um papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias e, ao cultivo da cana-de-açúcar, um espaço de destaque, dividido em parte com a produção de açúcar. Desta maneira, os cenários para a participação do etanol sugerem que a crescente demanda energética mundial deva fazer com que a diversificação na matriz

energética seja considerada. A ampliação da produção deverá ocorrer e sem considerar o incremento na área cultivada, e assim a utilização de biomassa proveniente de outras matérias-primas pode ser fundamental (SILVA et al., 2013).

Como matéria-prima alternativa e adaptada podemos descrever o sorgo, que, dentre os seus variados tipos apresenta materiais com características semelhantes às da cana-de-açúcar, dentre elas a alta produção de biomassa por unidade de área, a presença de colmos suculentos e a possibilidade de múltiplos usos. Entretanto, o segmento sucroalcooleiro dispõem de resíduos, ou sub-produtos como a vinhaça, que é produzido em grandes quantidades e dispõem de excelentes características como biofertilizante, como a alta concentração de nutrientes utilizados pelas plantas (LAIME et al., 2011).

Contemplar estas situações podem gerar oportunidades, beneficiando os setores ligados à agricultura e impulsionando uma nova gama de possibilidades, da aplicação de biofertilizante em áreas cultivadas com sorgo sacarino ou estabelecendo novas perspectivas para a utilização desta cultura em empreendimentos de menor porte, como o aproveitamento mútuo de biomassa para energia (etanol ou cogeração) e alimentação animal, com a opção de ensilamento do material forrageiro. Assim como relata Triana (2012), os quesitos que merecem atenção para alcançar o melhor aproveitamento do segmento agroindustrial do etanol são apontados: (1) a produção conjunta de bioeletricidade e (2) o maior aproveitamento de subprodutos como biomassa e a vinhaça.

## 2.1 SORGO SACARINO

Quinto cereal mais cultivado no planeta, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem como principais características produtivas o aproveitamento de grãos e de sua biomassa (PEREIRA-FILHO e RODRIGUES, 2015). Usos diversos configuraram materiais com finalidades específicas em que reverenciam sua utilização para alimentação humana ou animal e geração de energia. Dessa maneira pode-se descrever os principais “tipos” de sorgo definidos pela sua finalidade como granífero, forrageiro, vassoura e de bionergia (sacarino e biomassa) (RODRIGUES et al., 2015).

A variedade de tipos é atrelada ao produto final que se tem por objetivo na produção do sorgo. Desta maneira, com o avanço no desenvolvimento de híbridos

de sorgo podem ainda surgir novos materiais com funções distintas, ou então, com o propósito de agregar diferentes usos surgindo então materiais de dupla aptidão ou mais. Outro resultado possível é o ganho de produtividade e qualidade, proveniente dos trabalhos de melhoramento genético (CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; CIFUENTES et al., 2014).

Os estudos sobre a utilização de sorgo sacarino para fins energéticos têm sido conduzidos no Brasil desde a década de 1970, incentivados pelo programa PROALCOOL e impulsionado pela crise do petróleo ocorrida nesta época. O objetivo inicial das pesquisas era verificar o potencial para produção de etanol, a identificação de genótipos promissores e a avaliação dos custos de produção (BORGONOVÍ et al. (1982); ROSOLEM e MALAVOLTA (1981); SCHAFFERT et al. (1978).

O sorgo é uma planta monoica da família *Poaceae* que apresenta comportamento do grupo das plantas *C4*, conferindo-lhe uma alta eficiência no aproveitamento da radiação solar por meio da fotossíntese (ALMODARES e HADI, 2009; CUNHA e SEVERO-FILHO, 2010; LANDAU e SCHAFFERT, 2011). A planta apresenta maior rusticidade comparando-se com outras culturas como milho e a própria cana-de-açúcar, e, desta maneira, lhe proporciona bons resultados mesmo em solos secos ou úmidos ou mesmo em solos de baixa fertilidade, com caracterização agroclimática requerida em temperaturas médias adequadas próximas de 21 °C e mínimas de 15 °C (baixa amplitude térmica) (ALMODARES e HADI, 2009; MAGALHÃES et al., 2003; SRINIVASA-RAO et al., 2014).

Com produção de etanol que pode ultrapassar 6.000 L ha<sup>-1</sup>, o sorgo sacarino concentra maior produção por unidade de área cultivada comparando às outras culturas energéticas em condições de baixo investimento agrônomico, podendo, ainda, ser cultivada em regiões que apresentam limitações como déficit hídrico, encharcamento, salinidade ou alcalinidade do solo (REGASSA e WORTMANN, 2014). Woods (2001) destaca como potencial agroenergético do sorgo sacarino o incremento no período de colheita do segmento sucroalcooleiro, o aumento da eficiência na produção de etanol e eletricidade e a otimização no uso de recursos naturais, humanos e equipamentos.

O advento da utilização do sorgo sacarino como alternativa ao cultivo de cana-de-açúcar e milho tem sido amplamente debatido entre a academia e o setor industrial. Dentre as características vegetativas, o sorgo apresenta um

desenvolvimento rápido e baixas necessidades agronômicas, em relação à fertilidade dos solos e irrigação, adequando-se em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (THEURETZBACHER et al., 2013; ZEGADA-LIZARAZU e MONTI, 2012).

Teixeira et al. (1997) destacam as similaridades do sorgo sacarino em relação à cana-de-açúcar, em especial a capacidade de armazenar açúcares na região dos colmos e a utilização do seu resíduo como biomassa combustível. As diferenças, ainda em relação à cana-de-açúcar, devem-se principalmente por demonstrar ciclo vegetativo curto, entre 120 e 180 dias e ter sua implantação por meio de sementes. Estas condições demonstram a atratividade do sorgo sacarino em sucessão à cana-de-açúcar, já que pode ocupar as áreas de renovação de canaviais e disponibilizar sua produção em épocas onde a colheita da cana não encontra-se em condições ideais (EMYGDIO et al., 2011).

Outras vantagens do sorgo sacarino frente a cana-de-açúcar são da possibilidade da cultura ser mecanizável em sua totalidade e de os grãos formados poderem ser utilizados para alimentação animal ou humana (B. REDDY e P. REDDY, 2003).

Zegada-Lizarazu e Monti (2012) consideram o sorgo sacarino um viável e potencial candidato para suprir (ou complementar) a matéria-prima necessária ao segmento de bioenergia devido sua versatilidade, características de crescimento e potencial de rendimento. Ainda destacam que devem se intensificar o desenvolvimento de material genético a fim de aumentar a herdabilidade sob o aproveitamento do teor de açúcares nos colmos e a adequação de práticas agronômicas voltadas para melhora da produtividade.

Durães et al. (2012) afirmam que o mercado de sorgo sacarino encontra-se desenvolvido, havendo capacidade para a produção de sementes considerando um cenário com grande potencial para expansão em poucos anos, devendo atingir cerca de 20 milhões de ha cultivados (estimativas atuais são de 1,5 milhão de ha), sendo estes em áreas de renovação de canaviais ou áreas ocupadas por culturas anuais ou pastagens. Como destaque, Hagan et al., (2014) descrevem que o sorgo sacarino tem a habilidade de concentrar grandes quantidades de biomassa por um baixo custo de investimento.

Theuretzbacher et al. (2013) relatam que a utilização de culturas com períodos curtos de vegetação não demonstram ser adequadas apenas para produzir

alimentos e podem expressar outros interesses quando utilizadas em sucessão num mesmo ano agrícola com uma cultura principal. Esses interesses podem surgir com a possibilidade de melhorar as condições do solo ou gerar subprodutos úteis àquela cadeia de produção.

Dentre as novas opções de utilização do sorgo sacarino, a cogeração de energia apresenta-se como mais uma das alternativas para elevar a rentabilidade do segmento de etanol e diminuir a distância deste índice com os demais combustíveis.

## 2.2 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE SORGO SACARINO

As investigações científicas precursoras envolvendo sorgo sacarino no Brasil iniciaram o desenvolvimento de genótipos mais produtivos e que atendessem os anseios do segmento sucroalcooleiro, em especial o aumento do rendimento de etanol e açúcar (MALAVOLTA et al., 1979; ROSOLEM e MALAVOLTA, 1982; SCHAFFERT et al., 1978).

O desenvolvimento de materiais necessita de informações sobre seu estado nutricional quando alterado o local e o manejo. A prática que atende esta finalidade é a diagnose foliar, proveniente de estudos em que há correlação entre produtividade e os níveis de macronutrientes e micronutrientes presentes na planta (ROSOLEM e MALAVOLTA, 1982) sendo um instrumento de análise e divulgação visando produtividade (SILVA, 2009).

Boaretto et al. (2009) descrevem que o diagnóstico por meio de análises químicas tem por síntese confirmar sintomas observados, identificar prejuízos às plantas e a relação de produtividade por meio de nutrientes, avaliar a absorção de nutrientes pelas plantas e seu estado nutricional. Basicamente, a concentração de nutrientes em sorgo depende do genótipo, da parte utilizada para análise, do estágio de desenvolvimento e do local (SERRÃO et al., 2011).

Os procedimentos para a cultura do sorgo descrevem que o estágio ideal realizar a diagnose foliar é o florescimento, coletando-se a quarta folha com a bainha visível a partir do ápice da planta (BOARETTO et al., 2009). Os mesmos autores descrevem os teores de nutrientes considerados normais para um bom estado nutricional, como apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Teores de macro e micronutrientes para um bom estado nutricional da cultura do sorgo

	N	P	K	Ca	Mg	S
Macro	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
	25,0-35,0	2,0-4,0	14,0-25,0	2,5-6,0	1,5-5,0	1,5-3,0
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Micro	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
	4,0-20,0	5,0-20,0	65,0-100,0	10,0-190,0	0,1-0,3	15,0-50,0

Fonte: BOARETTO et al., 2009.

Coelho (2011) salienta que, apesar de ser considerado de maior rusticidade, o sorgo sacarino apresenta boas respostas quando ocorre o incremento de adubação e manejo do solo cultivado. Dentre os nutrientes que são mais extraídos pela planta tem-se o N e o K como mais expressivos (3,91 e 3,22 kg t<sup>-1</sup> de colmos respectivamente), seguidos de Ca, Mg, P, S, Fe, B, Mn, Zn e Cu (MAY et al., 2013).

Todavia, os trabalhos que indicam a capacidade de extração de nutrientes bem como as exigências de fertilidade do solo pelo sorgo sacarino ainda são escassos, especialmente quando ocorre aplicação de biofertilizante no solo, também à variedade de tipos de sorgo atualmente disponíveis e ao potencial de cada genótipo – híbrido ou variedade (ASHOK KUMAR et al., 2010).

### 2.3 APLICAÇÃO DE VINHAÇA COMO BIOFERTILIZANTE

A utilização de vinhaça no processo produtivo de biomassa pode ser uma das estratégias para o elevar os índices de retorno de investimento. Também uma possível proposta para estudos da utilização deste resíduo (ou subproduto) no cultivo do sorgo sacarino, mesmo sendo amplamente utilizado em parte ou na total substituição na adubação de canaviais.

Laime et al. (2011) consideram a vinhaça um efluente com alto poder poluente e alto valor fertilizante. Apresenta altos teores de nutrientes e matéria orgânica, entre estes o potássio, e é o principal efluente gerado durante o processo agroindustrial do etanol de cana-de-açúcar.

Existem características interessantes do ponto de vista agrônomo, não podendo mais ser considerada apenas como um resíduo. É produzida em grande

quantidade (cerca de 15 L para cada litro de etanol produzido) e representa capacidade poluidora expressada pela sua DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e problemática quando manejada de maneira inadequada, já que pode ser transportada para lençóis freáticos e recursos hídricos no entorno das áreas de aplicação (PRADO et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Mesmo com seu potencial fertilizante, até a década de 70 do século XX a vinhaça era lançada diretamente em cursos hídricos causando danos direto e indiretos por meio de processos de eutrofização (CRUZ et al., 2013). A composição básica da vinhaça é 93% de água e 7% de resíduos sólido (75% de matéria orgânica) (LAIME et al., 2011). Dentre sua característica química destaca-se a presença de K, Ca, Mg, P e Na com valores de 2.056, 719, 710, 237 e 50,2 mg L<sup>-1</sup> respectivamente (CHRISTOFOLETTI et al., 2013).

Em estudos sobre sua aplicação, pesquisadores concluíram que a adição de vinhaça auxilia na produtividade de colmos de cana-de-açúcar e no enraizamento da planta para doses de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (MEDINA et al., 2002). Giachini e Ferraz (2009) apontam os principais benefícios da adição de vinhaça no solo, entre estes o aumento da produtividade, o aumento do pH do solo e o melhor desenvolvimento de microrganismos, corroborando com Tasso Júnior et al. (2007) e Franco et al. (2008) que relatam, ainda, a manutenção da produtividade mesmo em ausência da adubação química.

Cruz et al. (2013) afirmam que os resultados da aplicação de vinhaça *in natura* podem ser altamente lucrativos e que o biogás gerado em processo de biodigestão mostra-se viável dependendo dos valores de venda de energia. O biogás de vinhaça, porém, pode tornar-se mais atrativo se considerado o pagamento de créditos de carbono pelo efeito de diminuição de GEE (MORAES et al., 2014).

Prado et al. (2013) relata que, o emprego de resíduos agrícolas como a vinhaça pode contribuir para o aumento da produtividade em cultivos assim como minimizar o potencial poluidor, podendo, inclusive, substituir adubos potássicos e outros nutrientes em menor quantidade, além de servir como agente de irrigação e elevar a matéria orgânica do solo. Contudo, não há estudos descritos na literatura que evidenciem a possibilidade de utilização da vinhaça na cultura do sorgo sacarino.

## 2.4 SILAGEM DE SORGO SACARINO

Segundo Miranda et al. (2002), a ensilagem é uma técnica de conservação de forrageiras por meio de um processo anaeróbio de fermentação, tendo como indicadores de qualidade o período ideal do ponto de corte das plantas, o tamanho das partículas e o uso adequado dos silos para armazenamento. Neste último ponto, merece atenção especial a compactação do material que objetiva expulsar o máximo possível de oxigênio presente no material, para otimizar a fermentação e evitar perdas no processo de ensilagem.

Na região sul do Brasil a utilização de silagem é empregada para a alimentação animal em períodos de seca e no inverno, onde a qualidade das pastagens decresce acentuadamente e o material ensilado é utilizado complementarmente ou como principal alimento.

A utilização de sorgo na dieta de animais ruminantes é amplamente utilizada e tem sido colocada como uma alternativa à produção de outros cereais ou forrageiras. O sorgo do tipo sacarino surgiu com esta finalidade a partir da disponibilização de genótipos de porte alto que visavam a produção de massa verde (SOUZA et al., 2003), e, por muitas vezes pode ser relacionado a materiais de sorgo forrageiro. Os tipos de sorgo mais utilizados para o ensilamento e alimentação animal são os forrageiros e graníferos, este último, recomendado aos produtores com alto padrão tecnológico (MIRANDA e PEREIRA, 2001).

Von Pinho et al. (2007) destacam que o sorgo apresenta maior produção de massa verde, maior qualidade nutricional e um custo de produção menor quando comparado ao milho.

Por apresentar boas características agrônomicas e fenotípicas o sorgo é uma planta apta ao ensilamento, porém, os variados tipos encontrados podem resultar em silagens de qualidade distintas (NEUMANN et al., 2002a). De acordo com Billa et al. (1997), dentre as características físicas do sorgo sacarino evidenciam-se o interior do colmo rico em açúcares solúveis em água e a parte externa composta por ácidos fenólicos e lignina.

De acordo com Ribeiro et al. (2007), as silagens consideradas com bom padrão de qualidade devem apresentar pH entre 3,7 e 4,2, na qual a silagem com pH mais elevado pode conter ácidos e elementos não desejáveis, associado a inadequada preservação da forrageira. Já para Rodrigues et al. (2012) a silagem

deve apresentar níveis adequados de elementos fermentáveis, poder tampão reduzido e mais de 20% de matéria seca, de modo a preservar ao máximo as características do material forrageiro.

Os indicadores de digestibilidade e energia podem auxiliar na resposta da viabilidade de utilização de forragens ensiladas. Entre estes está o NDT (nutrientes digeríveis totais) que fornece uma base de cálculo para o fornecimento de alimento volumoso e a mistura necessária de concentrados, com a finalidade de balancear as dietas dos animais. Rodrigues (2010) destaca que o NDT é amplamente utilizado e serve como parâmetro do valor energético do alimento. Outros indicadores são o DMS (digestibilidade da matéria seca), ED (energia digerível) e EM (energia metabolizável). Os cálculos teóricos consideram a dieta de animais em uma produtividade requerida referindo-se à porção metabolizável do alimento (RODRIGUES, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na estação experimental da PUCPR, câmpus Toledo, estado do Paraná, nas coordenadas 53°46'59,8" de longitude oeste e 24°43'13,3" de latitude sul, conforme Figura 1, durante o período de novembro de 2014 a agosto de 2015. O solo do local é caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico de textura argilosa (SANTOS et al., 2013) e o clima Cfa pela classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais máximas de 26 à 27 °C e mínimas entre 16 e 17 °C, pluviosidade média entre 1800 e 2000 mm ano<sup>-1</sup> (CAVIGLIONI et al., 2000).

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. Toledo, 2016  
Fonte: o autor

A análise química do solo, coletado na camada de 0-20 cm antes da implantação do experimento, apresentou os seguintes valores: pH = 4,90; P = 11,40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,23 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; C = 20,16 g dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4,82 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 2,37 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Cu = 5,00 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 3,30 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 33,69 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 77,38 mg dm<sup>-3</sup>; T<sub>CTC</sub> = 11,39 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% = 65,14.

O experimento contou com a avaliação de 3 genótipos de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob a adubação do solo com doses de vinhaça proveniente da agroindústria da cana-de-açúcar, na forma *in natura*. Utilizou-se de um delineamento experimental em blocos completos casualizados, em esquema fatorial duplo com 3 tratamentos adicionais (3x5+3), nos quais teve-se como fatores os genótipos (3) e doses de vinhaça (5) mais os tratamentos adicionais compostos pelos mesmos genótipos utilizando-se a adubação convencional química recomendada para a cultura. As sementes de sorgo sacarino utilizadas foram

desenvolvidas pela empresa CERES DO BRASIL com os híbridos CR-1339 e CR-1342 e da EMBRAPA com a cultivar BRS-511.

A vinhaça aplicada foi adquirida na empresa USAÇUCAR – Usina Santa Terezinha, no município de Tapejara do Oeste – PR, retirado no dia 25/11/14 de um tanque de depósito de vinhaça pura, da saída dos destiladores que apresentava temperatura próxima à 70°C. Foram utilizados 9.000 litros do material e a caracterização foi realizada por meio de metodologia apresentada por Silva (2009) no laboratório de química ambiental da UNIOESTE (Câmpus de Marechal Cândido Rondon – PR), apresentando os seguintes valores: pH = 4,5; P = 0,45 g dm<sup>-3</sup>; K = 4,85 g dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,35 g dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,30 g dm<sup>-3</sup>; Cu = 4,00 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 6,00 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 52 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 18,00 mg dm<sup>-3</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 1,93 g dm<sup>-3</sup>.

A densidade populacional para o cultivo de sorgo foi de 120.000 plantas ha<sup>-1</sup> e a dose de vinhaça teórica foi calculada, com base na recomendação para a cultura de cana-de-açúcar descritas pela CETESB (2006), por não haver uma especificação para a cultura de sorgo sacarino. A Equação 1 trata do cálculo da dose teórica aplicada em função das características do solo e da vinhaça:

$$\frac{[(0,05 \times CTC - K_{solo}) \times 3.744 + 185]}{K_{vinhaça}} = \frac{[(0,05 \times 11,39 - 0,23) \times 3.744 + 185]}{12,40} = 117,43 \text{ m}^3 \text{ vinhaça ha}^{-1} \quad (1)$$

Onde 0,05 corresponde à 5% da CTC; CTC representa a capacidade de troca catiônica verificada na análise de solo;  $K_{solo}$  o teor de potássio verificado na análise de solo em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; 3.744 é constante para transformação dos dados de  $K_{solo}$  de cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para kg de K; 185 é a massa em kg K<sub>2</sub>O extraído pela cultura da cana-de-açúcar (utilizada como base de referência); e  $K_{vinhaça}$  o teor de K (em kg K<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> vinhaça) presente na vinhaça utilizada (CETESB, 2006).

Com esta estimativa, as doses foram fracionadas a fim de contemplar intervalos negativos e positivos em relação a dose teórica calculada, perfazendo valores de 0, 50, 100, 150 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, aplicadas diretamente ao solo por meio de regadores e aplicando-se 50% da dose em 5 Dias Após a Semeadura (DAS) e 50% aplicado aos 35 DAS.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,65 m, perfazendo-se de parcela útil as duas linhas centrais. O croqui experimental contou com 4 blocos e 18 parcelas por bloco totalizando 72 parcelas, com distribuição aleatória dos tratamentos.

A sementeira foi realizada no dia 29/11/14 sem que houvesse revolvimento do solo. Utilizou-se uma semeadora manual de precisão modelo *Earthway 1001-B* distribuindo ao solo aproximadamente 7 a 8 sementes m linear com a finalidade de manter uma população de 120.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Como tratamento de sementes foi utilizado o inseticida de contato e ingestão de mistura pronta que contém o inseticida *Fipronil* do grupo pirazol, e os fungicidas *Piraclostrobina* do grupo das estrubirulinas e *Metil-Tiofanato* do grupo dos benzimidazois na dose de 100 mL kg<sup>-1</sup> de sementes. Como controle preventivo ao ataque de insetos por via aérea, especialmente de *Spodoptera frugiperda* e *Diatrea saccharalis* utilizou-se, aos 21 DAS, inseticida fisiológico sistêmico do grupo químico aciluréia e ingrediente ativo *Lufenuron*, na dose de 150 mL ha<sup>-1</sup>.

Na Figura 2 é apresentada imagens que demonstram a demarcação e sementeira das parcelas, assim como o armazenamento de vinhaça para fertirrigação transportada por 185 km.



**Figura 2.** Demarcação e sementeira das parcelas experimentais (A) e vinhaça armazenada para utilização no experimento (B).

Para a adubação das parcelas contendo os tratamentos adicionais, utilizou-se a recomendação para a cultura, estipulado com base na caracterização do solo como de alta e média fertilidade, sendo 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 08-28-16 na sementeira e 200 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura do formulado NPK 30-00-20.

### 3.1 DIAGNOSE FOLIAR E VARIÁVEIS ANALISADAS

O diagnóstico foliar do sorgo sacarino cultivado com vinhaça foi realizado com a finalidade de avaliar o estado nutricional das plantas. Os nutrientes (macro e micro) verificados foram: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn. Os resultados obtidos foram

comparados com a literatura. Na Figura 3 pode-se visualizar o desenvolvimento da cultura do sorgo sacarino.



**Figura 3.** Estabelecimento da cultura em 50 DAS (A) e início do florescimento (B).

Foram colhidas 6 folhas aleatoriamente da área útil de cada parcela experimental, totalizando 72 amostras. Utilizou-se a quarta folha com a bainha visível a partir do ápice da planta, no estágio de florescimento. Cada genótipo apresentou este estágio em épocas (DAS) diferentes, sendo: BRS-511: 75 DAS; CR-1339: 90 DAS; e CR-1342: 100 DAS. As folhas assim que colhidas foram lavadas em água corrente e enxaguadas em água destilada, identificadas e acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada à 65°C durante 54 horas. A moagem foi realizada em moinho de facas de aço inoxidável do tipo Willey, e então armazenadas em sacos plásticos vedados.

Para análise de N realizou-se digestão sulfúrica do material, conforme procedimentos descritos por Lana et al., (2010). A determinação de N g kg<sup>-1</sup> em cada amostra foi obtido utilizando a Equação 2:

$$\frac{[(Leitura_{amostra} - Leitura_{branco}) \times 0,7 \times 5.000]}{10.000} \times 10 = N \text{ g kg}^{-1} \quad (2)$$

Onde  $Leitura_{amostra}$  representa o resultado obtido na leitura do aparelho;  $Leitura_{branco}$  é a resposta da calibração executada no equipamento; os demais valores correspondem à correção da diluição e para expressar o resultado em g kg<sup>-1</sup> (LANA et al., 2010).

A digestão nítrico-perclórica foi utilizada para a extração dos demais nutrientes das folhas. A determinação de P (g kg<sup>-1</sup>) foi realizada por meio de espectrofotometria com azul-de-molibdênio e para K (g kg<sup>-1</sup>) foi empregado um fotômetro de chama. Os procedimentos e calibrações seguiram a descrição de Lana

et al., (2010), realizando a extração dos elementos e leitura de N, P e K no Laboratório de Fertilidade de Solos da UNIOESTE (Câmpus de Marechal Cândido Rondon – PR).

Os elementos Ca, Mg, Fe, Mn e Zn foram analisados por meio de espectrofotometria de absorção atômica (EAA) com os procedimentos descritos em Silva (2009) e calculados conforme Lana et al. (2010). As leituras foram realizadas no laboratório da FUNTEC/UNIOESTE (Câmpus de Toledo – PR).

O delineamento experimental consistiu do mesmo fatorial do experimento de campo. A interpretação estatística consistiu de análise de variância verificada pelo teste F ( $p < 0,05$ ), além de testes de médias (teste de Tukey) para os fatores qualitativos e análise de regressão para os fatores quantitativos, utilizando o ambiente de programação R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2013) e pacote estatístico complementar *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2013).

### 3.2 PRODUTIVIDADE E VARIÁVEIS ANALISADAS

As avaliações foram realizadas de acordo com o período ideal de colheita para cada genótipo, quando as panículas apresentavam grãos farináceos (grãos duros), fase esta onde há máxima concentração de açúcares. Este período apresentou intervalo entre 120 e 160 DAS, sendo 120 DAS para BRS-511, 150 DAS para CR-1339 e 160 DAS para CR-1342. Foram coletadas 6 plantas inteiras aleatoriamente da área útil de cada parcela, cortando-as rente ao solo (2 à 3 cm) para avaliação dos parâmetros comprimento do colmo (CCo), diâmetro do colmo (DCo), massa fresca do colmo (MFCo), massa fresca do caldo (MFCa), volume do caldo (VCa), graus brix do caldo (°BRIX), massa seca da inflorescência (MSI), massa seca do colmo (MSCo), massa seca de folhas (MSF) e massa seca total (MST).

Para avaliação do CCo foi utilizado fita métrica de 5,0 m iniciando da base do colmo até o início da inflorescência. A variável DCo foi aferida em duas alturas por meio de paquímetro analógico, sendo a DCo-base em 20,0 cm de altura e DCo-médio à 150,0 cm de altura. Utilizou-se uma moenda de cana elétrica *B/120 BOTIMETAL*, para extrair o caldo dos colmos, fazendo com que cada colmo passasse 4 vezes pela moenda dobrando-o no centro 2 vezes e filtrando o caldo em peneira de 2 mm. Desta maneira foi possível separar as variáveis MFCo e MFCa

que foram aferidas em balança eletrônica digital para 10 kg. Já o VCa foi aferido em proveta graduada com capacidade para 2 L.

A verificação do °BRIX deu-se com a utilização de um refratômetro de campo *ZR-10B Magnaflux*, com a leitura diretamente no aparelho utilizando-se de 4 gotas do caldo homogeneizado logo após a extração.

Os parâmetros MSI, MSCo e MSF foram avaliados após separar cada parte das plantas depois de realizado a extração do caldo, seguido de armazenamento em sacos de papel. O material foi identificado e acondicionado em estufa com circulação de ar forçada por 7 dias em temperatura de 65°C, aferindo a massa após este período em balança eletrônica digital com precisão de 3 casas decimais para gramas. Por fim, a variável MST foi composta do somatório de MSI, MSCo e MSF e ajustando seu valor para hectares, constituindo o resultado de produtividade de matéria seca por unidade de área (ha).

A interpretação estatística consistiu de análise de variância verificada pelo teste F ( $p < 0,05$ ), além de testes de médias (teste de Tukey) para os fatores qualitativos e análise de regressão para os fatores quantitativos, utilizando o ambiente de programação R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2013) e pacote estatístico complementar *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2013).

### 3.3 SILAGEM E VARIÁVEIS ANALISADAS

Para a produção de silagem utilizou-se materiais das parcelas experimentais de campo, provenientes dos blocos 2, 3 e 4. Um dos fatores de avaliação foi o uso e genótipos distintos. O ensilamento da forrageira foi realizado após a maturação de todos os genótipos aos 170 DAS (21/05/15), utilizando-se de 10 plantas inteiras retiradas ao acaso da área útil de cada parcela. Foi utilizado um implemento forrageiro-ensiladeiro acoplada em trator para triturar as plantas (Figura 4).



**Figura 4.** Trituração do material ensilado (A) e espessura das partículas (B).

A adubação do solo com vinhaça teve seu propósito na análise dos parâmetros bromatológicos da silagem, priorizando-se a comparação entre o material cultivado sem vinhaça, com vinhaça (dose teórica) e com a adubação química convencional, sendo este o fator adubação de referência.

A inoculação do material ensilado foi tratada como um fator de avaliação, considerando a variabilidade possível na aplicação ou não do inoculante. O inoculante utilizado foi um aditivo conservante de silagens destinado ao ensilamento de forrageiras com alto teor de matéria seca, em forma de pó hidrodispersível e composição básica de *Lactobacillus buchneri*, *Propionibacterium acidipropionici*, amilase e sacarose. Diluído 2 g do produto em 25 L de água limpa sem cloro (proporção de 2 g t<sup>-1</sup> de forragem) com aplicação de 100 mL em cada silo com inoculação.

Para confecção dos silos utilizou-se de sacos plásticos de 200 L super reforçados. A compactação do material foi realizada por meio de um aspirador de pó para uso doméstico de 1600 W, com intuito de retirar o máximo de oxigênio presente na forragem, e assim, o silo era imediatamente fechado e selado. Os 54 silos foram armazenados em ordem aleatória, protegidos de luz e calor até a abertura para avaliações durante um período de 95 dias.

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da PUCPR (Câmpus Toledo – PR). Os parâmetros avaliados foram: pH, matéria seca (MS em %) e as frações da MS para: EE (extrato etéreo), PB (proteína bruta), FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido), LIG (lignina) e Cinzas. Com base nas análises calculou-se os índices de digestibilidade e de energia.

Na abertura dos silos foi retirado para avaliação somente a parte central do material, uma quantidade aproximada de 250 g de silagem e então realizada a análise de pH do material conforme a descrição de Silva e Queiroz (2003). Posteriormente as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos de papel, aferido a massa e levadas à estufa para secagem a 65°C. A metodologia utilizada para quantificação das análises bromatológicas quanto aos teores de MS (%), PB (% MS), EE (%MS) e Cinzas (%MS) foi embasada na descrição da AOAC (1990) enquanto para FDN (%MS), FDA (%MS) e LIG (lignina %MS) utilizou-se da recomendação de Van Soest et al. (1991).

A determinação dos índices de digestibilidade e energia foram calculados

conforme Rodrigues (2010), embasados nos valores de FDA (%MS) e orientados pelo esquema de Weende. Para digestibilidade foram obtidos os valores de NDT (nutrientes digeríveis totais) e DMS (digestibilidade da matéria seca). A energia teve como indicadores o ED (energia digestível) e EM (energia metabolizável).

O delineamento experimental consistiu de 54 parcelas experimentais em 3 blocos casualizados no esquema fatorial triplo (3x3x2) contemplando os genótipos, a adubação de referência (TES = Testemunha, VIN = aplicação de 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça no cultivo e AQC = adubação química convencional) e a utilização de inoculante (SI = sem inoculação e CI = com inoculação).

A interpretação estatística consistiu de análise de variância verificada pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e testes de médias (teste de Tukey) como fatores qualitativos utilizando o ambiente de programação R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2013) e pacote estatístico complementar *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2013).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vinhaça pode ser considerada um biofertilizante variável, já que as condições da planta de operação em usinas e o sistema de estocagem podem proporcionar diferenças na diluição e na concentração dos elementos. Considerando este fato, verificou-se que o material utilizado apresentava características comumente encontradas (BRITO et al., 2007; GIACHINI e FERRAZ, 2009; PAULINO et al., 2002) e próximo aos valores considerados normais para o tipo do processo de obtenção (SILVA, 2012).

Os valores mínimos e máximos de temperatura diária em °C assim como a precipitação diária (em mm) durante o período experimental são apresentados na Figura 5.

**Figura 5.** Dados meteorológicos para temperatura (mínimas e máximas em °C) e precipitação diária (mm) no período de realização do experimento em DAS (dias após a semeadura). Toledo, 2015.

Os dados apresentados demonstram temperaturas propícias para o desenvolvimento da cultura, com média geral de 23,43 °C e mínima média de 19,35 °C. Assim como destacam Magalhães et al., (2003), as temperaturas noturnas são importantes para a máxima eficiência das plantas em converter os nutrientes disponíveis em energia metabolizável, garantindo assim, um rendimento satisfatório de massa seca e volume de biomassa.

A incidência de chuvas favoreceu o crescimento dos genótipos totalizando 1077,4 mm no decorrer do período, suprimindo a necessidade da cultura em torno de

720 mm (ASSIS & VERONA, 1991), além do que, a distribuição pode ser observada nas fases iniciais de desenvolvimento e um volume considerável durante a fase de florescimento, a partir de 80 DAS.

#### 4.1 VARIÁVEIS RELACIONADAS À DIAGNOSE FOLIAR

Os resultados da análise de variância estão descritos na Tabela 2 para os nutrientes N, P, K e Mg por meio do valor de F calculado e a significância do teste para  $p$ -valor  $<0,05$ .

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis N, P, K e Mg, além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis			
		N	P	K	Mg
Bloco	3	0,522 <sup>ns</sup>	0,805 <sup>ns</sup>	0,803 <sup>ns</sup>	1,333 <sup>ns</sup>
Genótipos (G)	2	30,070**	21,603**	21,605**	57,446**
Doses (D)	4	1,061 <sup>ns</sup>	0,339 <sup>ns</sup>	0,339 <sup>ns</sup>	0,771 <sup>ns</sup>
G vs D	8	0,846 <sup>ns</sup>	0,956 <sup>ns</sup>	0,957 <sup>ns</sup>	0,855 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	9,47	16,99	9,36	25,49
Fatorial vs adicional	(3)				
BRS-511 vs adicional	1	1,646 <sup>ns</sup>	0,728 <sup>ns</sup>	0,737 <sup>ns</sup>	8,692**
CR-1339 vs adicional	1	3,194 <sup>ns</sup>	0,039 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>	0,332 <sup>ns</sup>
CR-1342 vs adicional	1	0,355 <sup>ns</sup>	1,541 <sup>ns</sup>	1,569 <sup>ns</sup>	0,424 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

Nota-se uma variabilidade predominante entre os Genótipos (G) avaliados, apresentando para todas as variáveis uma diferença significativa ao nível de 1% (teste F). Não foi observado distinção entre as Doses (D) de vinhaça utilizadas, tampouco a interação entre os materiais (G) e o biofertilizante (D). Uma alta variabilidade intrínseca aos tratamentos pode ser vista pelo elevado CV nos teores de Mg, mesma variável que apresentou diferença entre os tratamentos com vinhaça e adubação química convencional.

A semelhança entre a adubação com biofertilizante frente ao convencional é um resultado otimista, indicando que não ocorre uma relação prejudicial quando da substituição de fertilizantes químicos pela vinhaça, no estado nutricional da cultura. Salienta-se ainda, que o solo utilizado no experimento é considerado de alta/média fertilidade, o que pode auxiliar na manutenção das condições fisiológicas da planta mesmo sem a adubação tradicional, porém, sem refletir necessariamente, para um resultado satisfatório em termos de produtividade.

Para a variável Mg houve diferença entre o fatorial e o tratamento adicional no cultivar BRS-511, onde a aplicação de vinhaça mostrou-se superior à adubação convencional, garantindo as médias de 4,56 e 2,98 g kg<sup>-1</sup> Mg, respectivamente. Este resultado demonstra que a utilização de vinhaça favorece o incremento de Mg na planta de sorgo sacarino.

O resumo da análise de variância para as variáveis Ca, Fe, Mn e Zn é apresentado na Tabela 3, considerando um *p*-valor <0,05 para significância no teste F, assim como o contraste com os tratamentos adicionais relativo a cada genótipo avaliado.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis Ca, Fe, Mn e Zn, além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis			
		Ca	Fe	Mn	Zn
Bloco	3	1,087 <sup>ns</sup>	4,131*	1,259 <sup>ns</sup>	0,686 <sup>ns</sup>
Genótipos (G)	2	0,019 <sup>ns</sup>	3,448*	0,321 <sup>ns</sup>	0,257 <sup>ns</sup>
Doses (D)	4	0,808 <sup>ns</sup>	0,116 <sup>ns</sup>	0,413 <sup>ns</sup>	1,199 <sup>ns</sup>
G vs D	8	0,418 <sup>ns</sup>	0,769 <sup>ns</sup>	0,442 <sup>ns</sup>	1,086 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	66,19	28,85	24,10	30,10
Fatorial vs adicional	(3)				
BRS-511 vs adicional	1	0,004 <sup>ns</sup>	0,218 <sup>ns</sup>	4,015 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>
CR-1339 vs adicional	1	1,739 <sup>ns</sup>	1,997 <sup>ns</sup>	0,120 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>
CR-1342 vs adicional	1	0,991 <sup>ns</sup>	0,101 <sup>ns</sup>	0,314 <sup>ns</sup>	2,370 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

De acordo com a Tabela 3 observa-se que apenas para a variável Fe ocorre diferença significativa pelo Teste F para Genótipos (G). Verifica-se um comportamento de variabilidade elevado para estes elementos, especialmente para Ca, apresentando um CV muito elevado. Não foi observado diferença significativa entre os tratamentos e seus tratamentos adicionais.

Na Tabela 4 encontram-se descritos os valores médios e teste de médias para as variáveis N ( $\text{g kg}^{-1}$ ), P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), K ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

**Tabela 4.** Valores médios para as variáveis N ( $\text{g kg}^{-1}$ ), P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), K ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) seguido do teste de médias quando significativo. Toledo, 2015

Genótipo	N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	K ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
BRS-511	29,330 a	3,386 a	10,582 a	4,557 a	106,208 a
CR-1339	25,778 b	2,437 b	7,616 b	2,671 b	53,589 b
CR-1342	23,292 c	2,647 b	8,272 b	1,995 c	98,312 ab

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Diferentes estudos com aplicação de vinhaça, principalmente sob a cultura da cana-de-açúcar tem sido conduzidos mostrando melhora nas características biológicas, físicas e químicas dos solos (PRADO et al., 2013). Mesmo não havendo pesquisas com relação à aplicação deste biofertilizante em sorgo, os benefícios ao solo em resposta à vinhaça podem proporcionar incremento na absorção de nutrientes pelas plantas, já que a atividade biológica auxilia na assimilação de nutrientes como N e K.

Kołodziej et al. (2015) trabalhando com lodo de esgoto encontraram valores crescentes de macronutrientes com o aumento de doses nas folhas médias de sorgo sacarino, atingindo valores de 21,92, 1,07, 4,44, 3,98 e 1,42  $\text{g kg}^{-1}$  de N, P, K, Ca e Mg respectivamente. Em estudos com 5 variedades de sorgo sacarino na China, Han et al. (2011) encontraram maiores concentrações de N, P e K nas folhas durante a antese, decrescendo com a maturação das plantas, obtendo valores médios entre 13,5 à 23,0  $\text{g kg}^{-1}$  N, 1,4 à 2,5  $\text{g kg}^{-1}$  P e 6,4 à 8,7  $\text{g kg}^{-1}$  K neste estágio de desenvolvimento. Estudos indicam ainda, que os híbridos de sorgo sacarino detêm

maior capacidade de absorção e assimilação dos nutrientes NPK quando comparado aos cultivares (ZHAO et al., 2009).

Diferenças foram observadas entre genótipos e épocas de semeadura para macro e micronutrientes em sorgo sacarino por Singh et al. (2012), com valores correspondendo à 14,1 à 16,3 g kg<sup>-1</sup> N, 2,36 à 2,50 g kg<sup>-1</sup> P, 5,19 à 6,29 g kg<sup>-1</sup> K.

As médias gerais deste estudo para os elementos Ca (g kg<sup>-1</sup>), Mn (mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (mg kg<sup>-1</sup>) foram respectivamente 12,41, 42,23 e 24,08. A faixa de caracterização dos elementos definido por Boaretto et al. (2009) demonstra que para o cultivar BRS-511 as variáveis N, P, Mg encontraram-se dentro do esperado. Os níveis de Mn e Zn com médias gerais foram adequados para todos os cultivares. Ca sofreu com uma alta variabilidade e apresentou um CV de 66,19%, com valores abaixo e acima da faixa de teores adequados, tanto para a aplicação de vinhaça quanto para os tratamentos adicionais, fato este, que pode ter sido causado pela característica do solo e a não correção prévia dos teores de Ca, apresentados na análise de solo com 4,82 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> Ca<sup>2+</sup>, valor considerado alto (MELLO et al., 1983).

Os híbridos apresentaram médias inferiores ao cultivar, sendo que para P e Mg os limites ficaram dentro do especificado por Boaretto et al. (2009). Com relação aos teores de N o CR-1342 apresentou valores abaixo do descrito e para Fe o híbrido CR-1339 obteve médias inferiores. Todos os genótipos apresentaram médias inferiores ao estabelecido para K, com médias variando de 7,616 à 10,582, abaixo da faixa de 14-25 g kg<sup>-1</sup> (BOARETTO et al., 2009), porém, próximo aos valores obtidos em experimentos com sorgo sacarino. Os valores verificados na literatura científica obedecem uma faixa entre 4,4 à 8,7 g kg<sup>-1</sup> K, o que pode indicar que o tipo sacarino de sorgo pode apresentar um padrão diferenciado.

Mesmo a vinhaça sendo caracterizada por seu potencial como biofertilizante, inclusive com significativos incrementos nos teores de K no solo não foi observado a variação na concentração de macro e micronutrientes entre as doses de vinhaça tampouco quanto o tratamento adicional. Contudo, a aplicação de vinhaça no sorgo sacarino não promoveu redução nos teores destes elementos, sendo, o efeito principal observado a diferença genética entre os materiais utilizados.

## 4.2 VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE

O resumo da análise de variância para as variáveis MFCa (massa fresca de

caldo), VCa (volume de caldo), °BRIX (graus brix), CCo (comprimento de colmo) e DCo (diâmetro de colmo à 20 e 150 cm da base), assim como o contraste com os tratamentos adicionais relativos a cada genótipo avaliado, são apresentadas na Tabela 5, considerando um *p*-valor <0,05 para significância no teste F.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis MFCa (massa fresca de caldo), VCa (volume de caldo), °BRIX (graus brix), CCo (comprimento de colmo) e DCo (diâmetro de colmo à 20 e 150 cm da base) além dos contrastes entre os genótipos e seu respectivo tratamento adicional. Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis					
		MFCa	VCa	°BRIX	CCo	DCo	
						20 cm	150 cm
Bloco	3	1,111 <sup>ns</sup>	1,913 <sup>ns</sup>	2,860 <sup>ns</sup>	5,87**	1,464 <sup>ns</sup>	0,662 <sup>ns</sup>
Genótipos (G)	2	92,331**	73,976**	324,070**	1317,41**	15,306**	21,521**
Doses (D)	4	2,308 <sup>ns</sup>	2,071 <sup>ns</sup>	2,240 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	1,321 <sup>ns</sup>	1,687 <sup>ns</sup>
G vs D	8	2,814*	1,955 <sup>ns</sup>	1,440 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	1,784 <sup>ns</sup>	2,520*
CV (%)	-	12,81	12,33	9,36	2,76	6,2	5,62
Fatorial vs adicional	(3)						
BRS-511 vs adicional	1	0,645 <sup>ns</sup>	1,907 <sup>ns</sup>	4,533*	9,557**	0,476 <sup>ns</sup>	2,285 <sup>ns</sup>
CR-1339 vs adicional	1	0,101 <sup>ns</sup>	0,159 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	2,543 <sup>ns</sup>	0,156 <sup>ns</sup>	1,692 <sup>ns</sup>
CR-1342 vs adicional	1	1,838 <sup>ns</sup>	1,931 <sup>ns</sup>	5,655*	0,253 <sup>ns</sup>	0,713 <sup>ns</sup>	8,948**

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

Verifica-se na Tabela 5 que houve diferença significativa à 1% para os Genótipos (G) em todas as variáveis. Esta informação indica a discrepância entre os materiais utilizados no experimento, demonstrando que pode haver propósito de uso e rendimento específico para cada um. Outra informação relevante é que não ocorreu diferença significativa para as Doses (D) de vinhaça utilizadas, demonstrando que a variação na aplicação de vinhaça não decorre em vantagem (ou desvantagem) para a resposta da cultura. Isto não afirma simplesmente que não possam ocorrer variações. Em relação a interação dos fatores G x D o que observa-se é uma resposta mais sensível, verificada apenas para as variáveis MFCa e DCo-150 cm, com diferença significativa à 5% e que demonstra que para estas há uma variação entre a genética da planta e a modificação do volume de vinhaça aplicado ao solo. Esta variação poderá ser verificada com a análise de regressão.

Dos tratamentos adicionais, ou seja, da condição imposta ao genótipo em resposta à aplicação convencional de fertilizante para garantir a nutrição da planta durante seu ciclo, pode-se verificar que das 6 variáveis 3 destas apresentaram alguma alteração de rendimento por substituição deste fertilizante pela vinhaça de cana-de-açúcar. Esta informação abre a possibilidade da utilização deste biofertilizante sem perdas de produtividade, especialmente por não haver uma diferença significativa na produção de caldo (MFCa e VCa). A alteração do grau Brix por meio da diferença entre a resposta do genótipo sob aplicação de vinhaça e o fertilizante químico nos materiais BRS-511 e CR-1342 pode demonstrar que a redução da qualidade do caldo pode ser um empecilho se o resultado final for a produção de etanol. Assim, mesmo com a diferença para CCo e DCo-150 cm não foi verificado uma diferença no rendimento de caldo. O genótipo CR-1339 não apresentou nenhuma diferença significativa entre a aplicação de vinhaça e seu tratamento adicional.

O resumo da análise de variância para MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total) e contraste com os tratamentos adicionais relativos a cada genótipo avaliado, são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total) e contrastes com o tratamento adicional. Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis				
		MFCo	MSCo	MSF	MSI	MST
Bloco	3	0,786 <sup>ns</sup>	2,246 <sup>ns</sup>	2,616 <sup>ns</sup>	4,66*	4,079*
Genótipos (G)	2	46,214**	133,025**	135,433**	414,73**	119,045**
Doses (D)	4	1,111 <sup>ns</sup>	1,508 <sup>ns</sup>	1,194 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	1,542 <sup>ns</sup>
G vs D	8	0,938 <sup>ns</sup>	1,008 <sup>ns</sup>	2,474*	1,10 <sup>ns</sup>	1,679 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	12,7	12,50	11,87	19,24	10,18
Fatorial vs adicional	(3)					
BRS-511 vs adicional	1	0,204 <sup>ns</sup>	0,279 <sup>ns</sup>	0,026 <sup>ns</sup>	1,928 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>
CR-1339 vs adicional	1	0,954 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	1,279 <sup>ns</sup>	2,342 <sup>ns</sup>	0,492 <sup>ns</sup>
CR-1342 vs adicional	1	2,214 <sup>ns</sup>	1,718 <sup>ns</sup>	0,811 <sup>ns</sup>	1,791 <sup>ns</sup>	2,762 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

Conforme Tabela 6, se o objetivo da produção de sorgo sacarino for a sua destinação como biomassa, não há perdas de rendimento se utilizar a aplicação de vinhaça em doses até 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Este resultado foi observado quando destacou-se diferença significativa entre os Genótipos (G), conferindo uma característica produtiva própria para cada material.

Não foi observado diferença significativa entre os tratamentos adicionais, fortalecendo a prática de aplicação de vinhaça na cultura de sorgo sacarino sem diminuição do rendimento em biomassa. Apenas para a variável MSF (massa seca de folhas) observou-se uma variação na interação entre os genótipos e doses de vinhaça, garantindo um comportamento diferente nas doses em relação aos materiais testados. Esta diferença pode ser visualizada por meio de suas médias.

Os dados médios observados para as variáveis °BRIX (graus brix) e CCo (comprimento de colmo) do teste de médias quando significativo para doses e médias do tratamento adicional estão dispostos na Tabela 7. O teste de médias foi aplicado ao fatorial e contrastado aos tratamentos adicionais em relação às doses de vinhaça utilizadas para cada genótipo, significativo com 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 7.** Valores médios para as variáveis °BRIX (graus brix), CCo (comprimento de colmo) e DCo-20 (diâmetro do colmo à 20 cm) seguido do teste de médias quando significativo para doses e tratamento adicional. Toledo, 2015

	Genótipo		
	BRS-511	CR-1339	CR-1342
	----- °BRIX -----		
Média	19,20 bA	14,67 aB	8,58 bC
Tratamento adicional	20,62 a	14,88 a	10,60 a
	----- CCo (m) -----		
Média	3,11 aC	3,92 aB	4,88 aA
Tratamento adicional	3,11 a	3,99 a	4,84 a
	----- DCo-20 (mm) -----		
Média	24,18 aA	22,56 aB	21,74 aB
Tratamento adicional	24,77 a	21,50 a	23,23 a

Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Por meio da Tabela 7 é possível analisar as médias e inferir sobre o melhor

propósito de utilização de cada genótipo. O material BRS-511 foi superior aos demais para a variável °BRIX, demonstrando que este pode ter a melhor produção se o objetivo for a conversão em etanol. As médias foram de 19,205, 14,670 e 8,579 para °BRIX para os materiais BRS-511, CR-1339 e CR-1342 respectivamente.

Em estudo sobre materiais de sorgo sacarino apresentado como trabalho de revisão, Almodares e Hadi (2009) encontraram variações entre 14,32 e 23,85 °Brix e Parrella et al. (2012) observaram valores entre 15,44 e 18,42 °Brix, o que contrapõem o presente estudo frente ao genótipo CR-1342, que apresentou valores inferiores. A mesma informação é relatada por Regassa e Wortmann (2014) que encontraram valores de 13 à 24 °Brix entre diversos genótipos de sorgo sacarino em estudos na literatura.

A concentração de açúcares deve manter-se ao menos entre 16 à 18 °Brix para então ser destinado a elaboração do xarope concentrado (ALMODARES e HADI, 2009). Parrella e Schaffert (2012) estabelecem um valor de 14,5 °Brix como mínimo aceitável para fins de produção de etanol. Portanto o genótipo CR-1342, mesmo mantendo as características de um material sacarino não deve ser utilizado quando o propósito for a produção de etanol, ou então, o tipo do material deve ser alterada para sorgo biomassa.

Para a variável °BRIX houve menor performance dos materiais BRS-511 e CR-1342 sob efeito das doses de vinhaça, demonstrando que a adubação do solo com fertilizante químico convencional é revertida em maior acúmulo de açúcares totais no caldo.

O genótipo CR-1342 apresentou melhores resultados para a variável CCo, com médias de 4,88 m seguido de 3,92 m (CR-1339) e 3,11 m (BRS-511). Este é o resultado para comprimento de colmo, sem considerar a altura total da planta que é obtida com a soma do colmo e inflorescência. Pesquisadores apontam para alturas de plantas entre 2,0 e 4,0 m como padrão. Parrella et. al, (2012) também observaram alturas médias entre 2,53 e 3,23 m quando estudaram o comportamento de 25 genótipos em 6 ambientes diversos. Isso indica que os avanços do melhoramento genético proporcionam a melhoria de materiais e pode ser observado pelo incremento do comprimento do colmo dos genótipos aqui utilizados. Outra questão é justamente a diversificação da finalidade dos genótipos de sorgo sacarino, atendendo a propósitos de produção de etanol, biomassa e também com características mútuas entre o rendimento de etanol e biomassa.

Na Tabela 8 são apresentados os dados médios para as variáveis MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total) seguido do teste de médias quando significativo para doses e médias do tratamento adicional. O teste de médias foi aplicado ao fatorial e também aos contrastes dos tratamentos adicionais em relação à dose de vinhaça utilizada em cada genótipo, significativo com 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 8.** Valores médios para as variáveis MFCo (massa fresca de colmo), MSCo (massa seca de colmo), MSF (massa seca de folhas), MSI (massa seca de inflorescência) e MST (massa seca total), seguido do teste de médias quando significativo para doses e médias do tratamento adicional. Toledo, 2015

	Genótipo		
	BRS-511	CR-1339	CR-1342
	----- MFCo (Kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Média	39.165,0 C	48.078,0 B	57.827,0 A
Tratamento adicional	40.225,0	45.210,0	62.800,0
	----- MSCo (Kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Média	13.616,0 C	18.092,8 B	25.840,0 A
Tratamento adicional	14.185,0	18.040,0	27.600,0
	----- MSF (Kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Média	4.644,0 C	8.833,6 A	7.922,4 B
Tratamento adicional	4.600,0	8.166,0	8.418,0
	----- MSI (Kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Média	624,0 C	4.862,4 B	9.150,0 A
Tratamento adicional	515,0	4.144,0	10.194,0
	----- MST (Kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
Média	18.884,0 C	31.788,8 B	42.960,4 A
Tratamento adicional	19.300,0	30.350,0	46.212,0

Letras maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Para as variáveis MFCo, MSCo, MSI e MST os maiores resultados ficaram a cargo do genótipo CR-1342, seguido do CR-1339 e BRS-511. Em especial, os valores de MST demonstraram uma grande possibilidade de utilização do CR-1342 como genótipo de alta biomassa, com média de 42.960,4 kg ha<sup>-1</sup> ou 42,96 t ha<sup>-1</sup>. Barbanti et al. (2006) encontraram valores de matéria seca entre 18 e 26 t ha<sup>-1</sup>,

próximos ao BRS-511 que rendeu 18,88 t ha<sup>-1</sup> no presente estudo. Parrella e Schaffert (2012) encontraram médias de matéria seca em 13,81 t ha<sup>-1</sup> e mesmo que inferior aos dados aqui apresentados a estimativa dos autores não apresenta a população de plantas, que, segundo Pereira-Filho et al. (2013) e Albuquerque et al. (2012), o aumento da população apresenta comportamento linear no incremento da produtividade e pode então explicar esta diferença entre os estudos.

Não foi verificado diferença significativa entre as variáveis apresentadas na Tabela 8 com seus respectivos tratamentos adicionais. Este fato indica que não ocorreu perda de rendimento nos parâmetros de produtividade de matéria seca quando foi realizado a fertirrigação com vinhaça de cana-de-açúcar nos genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342, em comparação à adubação química convencional. Singh et al. (2012) concluíram ainda, que o sorgo sacarino não apresenta redução de desempenho mesmo quando em presença de salinidade e redução de níveis de irrigação.

A análise de regressão para avaliar os efeitos das doses de vinhaça (0, 50, 100, 150 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) mostrou-se significativa apenas para as variáveis MFCa, VCa, DCo-20 cm e DCo-150 cm, possibilitando assim, por meio destas a inferência da dose considerada ideal e obter a melhor relação de produtividade. Também, a não comprovação de tal significância para os demais parâmetros avaliados ainda sugere que não ocorreu grande variação no incremento aos níveis de vinhaça aplicados em fertirrigação da cultura, para os três genótipos avaliados.

Na Figura 6 são apresentados graficamente o comportamento dos genótipos utilizados assim como as equações e coeficiente de determinação para a variável MFCa obtidas para os materiais BRS-511, CR-1339 e CR-1342.

**Figura 6.** Produtividade média de massa fresca de caldo (MFCa) em  $\text{kg ha}^{-1}$  em função às doses de vinhaça ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.

Observa-se na Figura 6 para todos os genótipos houve um comportamento quadrático nas equações pelo intervalo de doses utilizadas. Para BRS-511 o modelo gerado demonstra produtividade máxima de  $49.071,48 \text{ kg ha}^{-1}$  e dose ideal de  $101,33 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Este valor segue próximo da dose calculada pela equação 1 (base para aplicação de vinhaça em cultivo de cana-de-açúcar) de  $117,43 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ .

O genótipo BRS-511 apresentou variação entre as doses de vinhaça para MFCa com maiores médias quando aplicado a dose de  $100 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ , porém, não diferiu significativamente das doses 0 e  $150 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  e demonstrou superioridade sobre as doses 50 e  $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ . O material CR-1339 apresenta um ponto de mínima produtividade e seu máximo é alcançado com a maior dose de vinhaça, atesta a este material um efeito diferenciado aos demais, onde o incremento no volume do biofertilizante aumenta também seus índices de produtividade, chegando ao pico na dose  $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  e  $39.696,06 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os valores de máximo e dose ideal do CR-1342 são de  $20.097,54 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $145,55 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  respectivamente. As funções para a variável VCa são apresentadas na Figura 7 para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342.

**Figura 7.** Produtividade média em volume de caldo (VCa) em L ha<sup>-1</sup> em função às doses de vinhaça (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.

O comportamento demonstrado nas equações para VCa são semelhantes MFCa, já que existe uma relação básica entre as duas variáveis. Dessa maneira, também verifica-se funções com efeito quadrático garantindo ao BRS-511 (42.743,18 L ha<sup>-1</sup>) a maior produtividade, seguido do CR-1339 (39.696,06 L ha<sup>-1</sup>) e CR-1342 (27.506,70 L ha<sup>-1</sup>).

As avaliações seguidas do modelo matemático de diâmetro de colmo realizada para a variável DCo-150 cm são apresentadas na Figura 8, para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342.

**Figura 8.** Valores médios de diâmetro do colmo à 150 cm da base (DCo-150 cm) em mm em função às doses de vinhaça (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) para os genótipos BRS-511, CR-1339 e CR-1342. Toledo, 2015.

Visualiza-se na Figura 8 distintos modelos com comportamento quadrático. Percebe-se maior engrossamento do caule maior para CR-1342 em 150 cm da base. Verifica-se também, o comportamento diferente para o CR-1339 e o incremento quando utilizado doses intermediárias nos demais, próximas ao calculado na Equação 1 (CETESB), com níveis ideais de 95,09 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 111,25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para BRS-511 e CR-1342, respectivamente.

O material que destacou-se na produção de caldo foi o que apresentou maior engrossamento do colmo próximo à base, como observado na Tabela 6, ocorrendo então maior acúmulo de caldo nesta região.

### 4.3 PRODUÇÃO DE SILAGEM

O resumo da análise de variância para as variáveis pH, MS (massa seca), EE (extrato etéreo) e PB (proteína bruta) é apresentado na Tabela 9, considerando um *p*-valor <0,05 para significância no teste F.

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis pH, MS (matéria seca total %), EE (extrato etéreo % MS) e PB (proteína bruta % MS). Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis			
		pH	MS	EE	PB
Bloco	2	2,754 <sup>ns</sup>	4,312*	0,262 <sup>ns</sup>	2,147 <sup>ns</sup>
Genótipos (G)	2	25,512**	156,273**	8,132*	12,701**
Adubação (A)	2	5,074*	2,406 <sup>ns</sup>	0,229 <sup>ns</sup>	3,689*
Inoculação (I)	1	0,129 <sup>ns</sup>	14,072**	0,007 <sup>ns</sup>	2,475 <sup>ns</sup>
(G) vs (A)	4	0,478 <sup>ns</sup>	2,026 <sup>ns</sup>	0,414 <sup>ns</sup>	2,860*
(G) vs (I)	2	3,569*	0,048 <sup>ns</sup>	0,478 <sup>ns</sup>	2,142 <sup>ns</sup>
(A) vs (I)	2	0,876 <sup>ns</sup>	0,551 <sup>ns</sup>	0,682 <sup>ns</sup>	1,052 <sup>ns</sup>
(G) vs (A) vs (I)	4	0,676 <sup>ns</sup>	0,409 <sup>ns</sup>	0,469 <sup>ns</sup>	0,933 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	2,71	21,44	41,05	39,68

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

Os resultados descritos na Tabela 9 que os Genótipos (G) avaliados demonstraram diferença significativa para todas as variáveis, indicando que cada

material (híbrido ou cultivar) pode responder distintamente às mesmas condições de ensilamento. O pH foi a única variável que apresentou interação entre Genótipos (G) e Inoculação (I), favorecendo um comportamento diferenciado para cada material. Juntamente PB e pH foram sensíveis ao fator adubação enquanto a variável MS apresentou efeito simples à Inoculação (I). A interação entre Genótipos (G) e Adubação (A) foi verificado apenas para a variável PB.

Na Tabela 10 é descrito o resumo da análise de variância para as variáveis FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido), Lignina e Cinzas considerando um  $p$ -valor  $<0,05$  para significância no teste F.

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância contendo o valor de F e significância para as variáveis FDN (fibra em detergente neutro % MS), FDA (fibra em detergente ácido % MS), LIG (lignina % MS) e CIN (cinzas % MS). Toledo, 2015

Fontes de Variação	GL	Variáveis			
		FDN	FDA	LIG	CIN
Bloco	2	0,955 <sup>ns</sup>	4,206*	0,990 <sup>ns</sup>	0,416 <sup>ns</sup>
Genótipos (G)	2	13,803**	62,620**	42,356**	57,680**
Adubação (A)	2	0,117 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>	0,146 <sup>ns</sup>	0,396 <sup>ns</sup>
Inoculação (I)	1	3,936 <sup>ns</sup>	0,669 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,887 <sup>ns</sup>
(G) vs (A)	4	1,685 <sup>ns</sup>	1,096 <sup>ns</sup>	1,209 <sup>ns</sup>	1,843 <sup>ns</sup>
(G) vs (I)	2	0,491 <sup>ns</sup>	2,030 <sup>ns</sup>	1,451 <sup>ns</sup>	0,659 <sup>ns</sup>
(A) vs (I)	2	0,204 <sup>ns</sup>	1,641 <sup>ns</sup>	1,446 <sup>ns</sup>	1,127 <sup>ns</sup>
(G) vs (A) vs (I)	4	0,368 <sup>ns</sup>	2,014 <sup>ns</sup>	0,165 <sup>ns</sup>	0,910 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	11,35	13,97	12,45	24,91

<sup>ns</sup>: não significativo; \* e \*\*: significativo à 5% e 1% pelo teste F respectivamente; GL: grau de liberdade.

De acordo com os resultados verificou-se que para todas as variáveis a diferença foi significativa quando da análise de Genótipos (G). Não houve interação entre os fatores (G) e Inoculação (I) para Lignina, verificando-se apenas a diferença significativa a 1% para o fator Genótipos (G). A lignina é um composto fenólico presente em espécies forrageiras, limitando a sua utilização como alimento

volumoso já que pode acarretar em menor rendimento na produção animal (RODRIGUES et al., 2012).

As médias observadas para as variáveis pH, MS (%), EE (%MS) e PB (%MS) são apresentadas na Tabela 11. O teste de médias foi aplicado aos efeitos simples e interações, quando significativos pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 11.** Valores médios para as variáveis pH, MS (matéria seca %), EE (extrato etéreo %MS) e PB (proteína bruta %MS) para os fatores inoculação, genótipo e adubação. Toledo, 2015

	pH		MS		EE		PB		
Inoculação	-- SI ---	-- CI ---	-- SI ---	-- CI ---	-- SI ---	-- CI ---	-- SI ---	-- CI ---	
	-	-	26,40 A	24,34 B	-	-	-	-	
	<i>Interação (G) vs (I)</i>				<i>Interação (G) vs (A)</i>				
Genótipo	-- SI ---	-- CI ---					TES	VIN	AQC
BRS-511	3,61 b	3,58 c	19,48 c		1,08 b		6,69 aB	5,38 B	9,34 aA
CR-1339	3,70 a	3,66 b	25,28 b		1,66 a		7,79 a	6,08	6,39 b
CR-1342	3,72 aB	3,80 aA	31,37 a		1,87 a		3,97 b	4,23	4,84 b
Adubação									
TES	3,72 a		-		-				
VIN	3,68 ab		-		-				
AQC	3,64 b		-		-				

Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha para a mesma variável diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Os valores de pH apresentados demonstram que a silagem apresentou boa qualidade. Esta variável é considerada um indicador adequado para avaliar o comportamento do ensilamento, devendo apresentar valores entre 3,6 e 4,2 a fim de garantir uma conservação desejável por meio de um processo de fermentação anaeróbia adequado (RODRIGUES et al., 2012). Apenas o genótipo BRS-511 apresentou valores médios abaixo desta faixa, possivelmente por este material apresentar maior concentração de açúcares no colmo. A inoculação foi responsável por alterar a resposta do híbrido CR-1342, elevando o pH de 3,72 para 3,80, também dentro da faixa ótima. Orrico Junior et al. (2015) encontraram pH de 3,67 para o cultivar BRS-511 ensilado durante 100 dias.

Neumann et al. (2004) enfatizam que o ensilamento inadequado proporciona o desenvolvimento de microrganismos clostrídicos elevando os níveis de pH do material, ocasionando concentração de ácido butírico e amônia.

A adubação de referência também influenciou os resultados médios obtidos, já que os silos elaborados com materiais provenientes de parcelas testemunha (TES) demonstraram valores mais elevados do que aqueles em que utilizou-se de adubação química convencional (AQC).

A MS é um dos indicadores mais importantes na avaliação de características bromatológicas de forragens ensiladas, fazendo parte de grande parte dos trabalhos de experimentação (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2005; RIBEIRO et al., 2007; CARDOSO et al., 2012; ORRICO JÚNIOR et al., 2015). De maneira básica, reflete como a forrageira poderá ser aproveitada pelo animal sendo pela velocidade de digestão e pela qualidade nutricional do alimento, permitindo que o animal utilize os nutrientes em maior ou menor escala (SOUZA et al., 2003).

Rodrigues et al. (2012) salientam que os valores aceitáveis para um alimento de boa qualidade avaliado pela matéria seca devem ser acima de 20%. Assim, os valores de MS podem demonstrar se um genótipo é adequado ou não para a produção de silagens. O genótipo BRS-511 apresentou valores de 19,48 % MS, significativamente inferior ao CR-1339 com 25,28 % MS e o híbrido CR-1342 (31,37 % MS) superior aos demais. Uma explicação para este fato pode ser deduzida a partir da avaliação de Neumann et al. (2002b), mencionam que, a relação entre a suculência do colmo afeta as características de MS.

A inoculação da silagem resultou em um decréscimo dos teores de MS, caindo de 26,40 para 24,34%. Esta diferença pode ser proporcionada pela aceleração da degradação da porção fibrosa das forrageiras.

Para a fração EE (%MS), o cultivar BRS-511 obteve média inferior aos híbridos, os quais não diferiram entre si. De acordo com Mizubuti et al. (2002) os resultados normais para esta variável devem encontrar-se entre 1,50 à 2,07 %, portanto, a cultivar testada não encaixa-se nos parâmetros indicados. A influência destes valores pode acarretar em fermentação inadequada da silagem ocasionando perdas e elevada geração de efluentes, sem garantir um alimento adequado à produção animal (SOUZA et al., 2003; AVELINO et al., 2011).

Verificou-se para a variável PB a interação entre os fatores Genótipos (G) e Adubação (A) que acarretou em um comportamento distinto ao cultivar BRS-511 com variação de 5,38 na média para adubação com vinhaça (VIN) para 9,34 % PB da porção de MS quando utilizado AQC, sendo esse valor superior aos encontrados nos estudos de Neumann et al. (2002b), Souza et al. (2003), Avelino et al. (2011) e

Cardoso et al. (2012), que obtiveram valores de até 7,6 % PB. A adubação VIN não proporcionou variação entre os genótipos estudados, para TES o BRS-511 foi similar ao CR-1339 e para AQC os híbridos não apresentaram diferença significativa e obtiveram médias inferiores ao cultivar BRS-511.

Na Tabela 12 são descritas as médias para FDN (%MS), FDA (%MS), LIG (%MS) e CIN (%MS).

**Tabela 12.** Valores médios para as variáveis FDN (fibra em detergente neutro %MS), FDA (fibra em detergente ácido %MS), LIG (lignina %MS) e CIN (cinzas %MS) para os fatores inoculação e genótipo. Toledo, 2015

Genótipo	FDN	FDA	LIG	CIN
BRS-511	64,27 b	39,48 c	7,06 c	7,48 a
CR-1339	68,95 b	47,66 b	8,93 b	6,45 b
CR-1342	75,68 a	52,14 a	11,14 a	4,45 c

Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha para a mesma variável diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

As médias de FDN mantiveram-se próximas dos valores encontrados por Neumann et al. (2004) com 66,6 e 73,66%, entre genótipos de duplo propósito e forrageiros, respectivamente. Segundo Avelino et al. (2011), as frações fibrosas (FDN e FDA) tem importante resposta no valor nutritivo dos alimentos forrageiros, considerando que menores proporções garantem maiores valores nutricionais (NEUMANN et al., 2002a). Para o presente estudo, o cultivar BRS-511 obteve a menor média (64,27 %) justamente por ser o material com característica de elevada produção de caldo, porém, não diferiu do CR-1339 e ficou abaixo da média para CR-1342 (75,68%).

Já a fração de FDA demonstrou uma variação de 39,48 para 52,14%. Os valores demonstram a característica dos híbridos frente ao cultivar, mantendo-se como genótipos com potencial de produção de biomassa de alto teor de fibras, já que os estudos de Neumann et al. (2002b), Neumann et al. (2004), Von Pinho et al. (2007), Pereira et al. (2008), Botelho et al. (2010) e Silva et al. (2012) apontam para uma FDA máxima em torno de 35,0%.

Para a Lignina houve interação entre os fatores Genótipos (G) e Inoculação (I) fazendo com que o híbrido CR-1342 obtivesse uma significativa redução de 13,14 para 7,67% de média, expressando, novamente sua característica de material para

biomassa lignocelulósica. Entre os genótipos apenas observou-se variação quando da não utilização de aditivo nos silos, demonstrando que apenas para o material com elevado teor de lignina pode ser considerado usual a aplicação deste produto. Neumann et al. (2004) observaram um teor de lignina de 7,43% para sorgo forrageiro ensilado em silo horizontal por 40 dias.

O teor de cinzas mais elevado foi observado para o cultivar BRS-511, seguido de CR-1339 e CR-1342. O valor médio do cultivar foi acima do que o máximo observado nos estudos de Souza et al. (2003), Neumann et al. (2004), Avelino et al. (2011). Para o BRS-511 Orrico Junior et al. (2015) encontraram valores de 4,82 e uma variação de 4,48 e 5,26 (%MS).

As médias calculadas obtidas para os índices de digestibilidade (NDT e DMS) e energia (ED e EM) são descritas na Tabela 13. Como os cálculos utilizam como referência a FDA considera-se a mesma variância dos dados, com significativa diferença entre os Genótipos (G) utilizados no estudo.

**Tabela 13.** Valores médios para as variáveis NDT (nutrientes digeríveis totais), DMS (digestibilidade da matéria seca), ED (energia digestível) e EM (energia metabolizável). Toledo, 2015

Genótipo	NDT	DMS	ED	EM
	----- (%MS) -----	-----	----- (Mcal kg <sup>-1</sup> MS) -----	-----
BRS-511	60,21 a	58,15 a	2,65 a	2,17 a
CR-1339	54,48 b	51,78 b	2,40 b	1,97 b
CR-1342	51,35 c	48,29 c	2,26 c	1,85 c
Média	55,35	52,74	2,44	2,00

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Segundo Faria Júnior et al. (2009) a principal diferença entre características de digestibilidade entre as silagens de sorgo é caracterizada pela variabilidade genética entre os materiais utilizados. Observa-se na Tabela 13 que as médias mais elevadas foram observadas no Genótipo (G) BRS-511, seguido de CR-1339 e CR-1342, considerando todas as variáveis. Souza et al. (2003) trabalhando com 5 genótipos de sorgo obtiveram variação de 46,9 à 57,8 NDT (%MS). Orrico Junior et al. (2015) verificaram diferenças para NDT (%MS) entre 57,02 e 61,35 em 4 cultivares da linha BRS (Embrapa), sendo 61,16 para o BRS-511.

Os valores de DMS analisados por Faria Júnior et al. (2009) tiveram variação entre 45,2 e 64,1 obtidos da verificação de uma série de trabalhos científicos que contemplaram diferentes tipos de sorgo. Os valores aqui apresentados variaram entre 48,29 e 58,15 DMS (%MS).

Neumann et al. (2004) encontraram valores para ED (Mcal kg<sup>-1</sup> MS) entre 2,30 e 2,61. Apenas o híbrido CR-1342 obteve valores inferiores atingindo média de 2,26 ED (Mcal kg<sup>-1</sup> MS). Para a variável EM, Passini et al. (2002) obtiveram resultados de 2,85 Mcal kg<sup>-1</sup> MS, quando avaliaram o ensilamento de sorgo granífero. Neumann et al. (2002b) observaram valores entre 2,02 e 2,17 EM (Mcal kg<sup>-1</sup> MS) entre 4 genótipos de sorgo ensilados.

Os valores de referência para digestibilidade da silagem de sorgo são comparadas à silagem de milho, apresentando 80 à 90% do valor nutricional, conferindo ao sorgo uma alternativa que, dependendo do genótipo pode ser mais ou menos adequado à produção animal (FARIA JÚNIOR et al., 2009).

Orrico Junior et al. (2015) consideram o cultivar BRS-511 promissor com características de elevada produtividade e qualidade nutricional adequada. Comparando este genótipo com os híbridos utilizados, percebe-se que o cultivar apresenta melhor digestibilidade, porém tem índices de qualidade inferiores (pH e %MS). A escolha do material a ser utilizado deve então considerar a produção de MS por unidade de área, os parâmetros de qualidade e a digestibilidade da silagem.

## 5 CONCLUSÕES

Os genótipos utilizados apresentaram resultados semelhantes quando utilizado a vinhaça proveniente da produção de etanol de cana-de-açúcar em comparação a adubação do solo com fertilizante químico convencional a base de NPK.

A concentração de nutrientes nas folhas de sorgo sacarino demonstra que ocorre variação entre os genótipos utilizados e não há redução nos teores quando aplicado vinhaça no solo em comparação com adubação química convencional.

Não há redução da produtividade para as variáveis relacionadas ao rendimento de caldo (MFCa e VCa) tampouco quanto de biomassa (MST), porém, ocorre diminuição dos açúcares totais em resposta da variável °BRIX para os genótipos BRS-511 e CR-1342 quando aplicado vinhaça na adubação das plantas.

A melhor produtividade de caldo e os valores de °Brix foram obtidos pelo genótipo BRS-511, destacando seu potencial e propósito para a produção de etanol. As médias para este quesito foram de 19,205 °Brix, 14,670 °Brix e 8,579 °Brix para BRS-511, CR-1339 e CR-1342 respectivamente. Com colheita aos 160 DAS, o híbrido CR-1342 não deve ser utilizado para produção de etanol.

Para a produção de biomassa destaca-se o genótipo CR-1342, seguido de CR-1339 e BRS-511. A silagem de sorgo sacarino mostra-se viável sob os parâmetros bromatológicos, tendo o BRS-511 melhor valor de digestibilidade e energia. Os critérios de qualidade da silagem demonstram que os híbridos CR-1339 e CR-1342 apresentam-se superiores à BRS-511. A inoculação não apresentou alteração nos resultados com 95 dias de ensilamento.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. D. C.; GUIMARÃES, A. S.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J. Sweet sorghum in different row spacing and plant densities in Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 69–85, 2012.
- AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Energetic-environmental assessment of a scenario for Brazilian cellulosic ethanol. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 474-489, 2013.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772–780, 2009.
- ASHOK KUMAR, A.; REDDY, B. V. S.; BLUMMEL, M.; et al. On-farm evaluation of elite sweet sorghum genotypes for grain and stover yields and fodder quality. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 10S, n. 2010, p. 69–78, 2010.
- AVELINO, P. M.; NEIVA, J. N. M.; ARAUJO, V. L.; ALEXANDRINO, E.; BOMFIM, M. A. D.; RESTLE, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 208–215, 2011.
- 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. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 30–39, 2006.
- BARDI, U.; LAVACCHI, A.; YAXLEY, L. Modelling EROEI and net energy in the exploitation of non renewable resources. **Ecological Modelling**, v. 223, n. 1, p. 54-58, 2011.
- BILLA, E.; KOULLAS, D. P.; MONTIES, B.; KOUKIOS, E. G. Structure and composition of sweet sorghum stalk components. **Industrial Crops and Products**, v. 6, n. 3-4, p. 297-302, 1997.
- BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. VAN; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. C. (Org.); **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2º ed, p.59–85, 2009. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- BORGONOV, R. A.; SANTOS, F. G.; SANTOS, H. L.; FERREIRA, A. S.; WAQUIL, J. M.; SILVA, J. B.; CRUZ, I. Recomendações para o plantio de sorgo sacarino. **Lavoura**, p. 38–42, 1982. Sete Lagoas, MG.
- BOTELHO, P. R. F.; PIRES, D. A. A.; SALES, E. C. J.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; JAYME, D. G.; REIS, S. T. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 287–297, 2010.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2015**. Ano base 2014. Relatório síntese. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2015. 62 p.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 318–323, 2007.

CAMPOS, F. P.; NUSSIO, C. M. B.; NUSSIO, L. G. **Métodos de análises de alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 135 p.

CARDOSO, R. M.; PIRES, D. A. A.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J.; ALVES, D. D.; GERASSEV, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; LIMA, L. O. B. Avaliação de híbridos de sorgo para silagem por meio da degradabilidade *in situ*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 106–114, 2012.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agrícola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 33, n. 12, p. 2752–61, 2013.

CIFUENTES, R.; BRESSANI, R.; ROLZ, C. The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein. **Energy for Sustainable Development**, v. 21, p. 13–19, 2014.

CLEVELAND, C. J. Net energy from the extraction of oil and gas in the United States. **Energy**, v. 30, n. 5, p. 769-782, 2005.

COELHO, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. In: DURÃES, F. O. M. (Coord.); **Agroenergia em revista**, ano 2, n. 3, p. 18-19. Brasília – DF. 2011.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Safra 2015/16, v. 2, Brasília, DF: CONAB, 2015. 69 p.

CRUZ, L. F. L. S.; DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F.; PIRES, E. C. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça : fertirrigação, concentração e biodigestão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 29, 2013, p. 111–127, 2013.

CUNHA, S. P. DA; SEVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Tecno-lógica**, v. 14, n. 2, p. 69–75, 2010.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; COGO, N. P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Orgs.); **Agricultura conservacionista no Brasil**. 1º ed, p. 23–41. Brasília, DF: Embrapa. 2014.

DENG, S.; TYNAN, G. R. Implications of energy return on energy invested on future total energy demand. **Sustainability**, v. 3, n. 12, p. 2433-2442, 2011.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em revista**, ano 2, n. 3, 52 p. Brasília – DF. 2011.

\_\_\_\_\_. O sorgo sacarino é uma alternativa para complemento da cana-de-açúcar na produção de etanol e biomassa para cogeração de energia. Seminário temático agroindustrial de produção de sorgo sacarino para bioetanol. **Anais...** p. 20–21. Ribeirão Preto, SP. 2012.

EMYGDIO, B. M.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. TARDIN, F. D.; MENEZES, C. B.; FACCHINELLO, P. H.; OLIVEIRA, L. N.; BARROS, L. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino visando à produção de etanol em solos hidromórficos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 17, n. 1, p. 53-59, 2011.

FARIA JÚNIOR, W. G.; GONÇALVES, L. C.; PIRES, D. A. A.; RODRIGUES, J. A. S.; RAMIREZ, M. A. Silagem de sorgo para gado de leite. In: GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; FERREIRA, P. D. S. (Orgs.); **Alimentos para gado de leite**. 1º ed, p. 43–64. Belo Horizonte, MG: FEPMVZ. 2009.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2, 2013.

FRANCO, A.; MARQUES, MARCOS OMIR; MELO, W. J. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: nitrogen contents in soil and plant. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 408-414, 2008.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 15, Ano VII, 2009.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GRISI, E. F.; YUSTA, J. M.; DUFO-LÓPEZ, R. Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucro-energetic industries. **Applied Energy**, v. 92, p. 860-867, 2012.

GUIMARÃES JÚNIOR, R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BORGES, A. L. C. C.; RODRIGUES, N. M.; SALIBA, E. O. S.; BORGES, I.; PIRES, D. A. A.; JAYME, D. G.; CASTRO, G. H. F. Frações fibrosas dos materiais originais e das silagens de três genótipos de milheto [*Pennisetum glaucum* (L). R. BR.], em

diferentes períodos de fermentação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 243–250, 2005.

HAGAN, A. K.; BOWEN, K. L.; PEGUES, M.; JONES, J. Nitrogen Rate and Variety Impact Diseases and Yield of Sorghum for Biofuel. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1205, 2014.

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**, v. 120, n. 2, p. 230–240, 2011.

KOŁODZIEJ, B.; ANTONKIEWICZ, J.; STACHYRA, M.; et al. Use of sewage sludge in bioenergy production – A case study on the effects on sorghum biomass production. **European Journal of Agronomy**, v. 69, p. 63–74, 2015.

LAIME, E. M. O.; FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, D. C. S.; FREIRE, E. A. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 16–29, 2011.

LANA, M. C.; FEY, R.; FRANDALOSO, J. F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2010. 130 p.

LANDAU, E. C.; SCHAFFERT, R. E. Zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil. **Agroenergia em revista**, v. 3, n. 2, p. 20–21, 2011. Brasília – DF.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da Planta de Sorgo. **Comunicado Técnico 86**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2003.

MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E. L. M.; VITTI, G. C.; ALEJO, N. U.; NOVAES, N. J.; FURLANI NETO, V. L. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench). I: deficiências de macro e micronutrientes e toxidez de alumínio, cloro e manganês. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 36, p. 173–202, 1979.

MANDLEBAUM, S.; NRIAGU, J. Carbon Sequestration and Agriculture. In: NRIAGU, E. C. J. O. (Ed.); **Encyclopedia of Environmental Health**. p.498-504, 2011. Burlington: Elsevier.

MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; VASCONCELLOS, J. H.; PARRELLA, R. A. C.; MIRANDA, R. A. I seminário temático sobre sorgo sacarino - anais. **Documentos 187**. 83 p. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2012.

MAY, A.; MENDES, S. M.; SILVA, D. D.; PARRELLA, R. A. C.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; PACHECO, T. F.; AQUINO, L. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; KARAM, D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. **Circular Técnica 186**, 2013. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo.

- MEDINA, C. C.; NEVES, C. V. J. S.; FONSECA, I. C. B.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.
- MELLO, F. DE A. F. DE; SOBRINHO, M. DE O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. 4º ed. Piracicaba, SP: Nobel, 1983.
- MIRANDA, J. E. C.; PEREIRA, J. R. Tipos de sorgo para silagem. **Instrução Técnica para o produtor de leite 51**, 2001. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite.
- MIRANDA, J. E. C.; RESENDE, H.; VALENTE, J. O. Ensilagem do milho e do sorgo. **Comunicado Técnico 28**, 2002. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite.
- MIZUBUTI, I. Y.; LUÍS, E. DE A. R.; ROCHA, M. A.; SILVA, L. D. F.; PINTO, A. P.; FERNANDES, W. C.; ROLIM, M. A. Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e girassol (*Helianthus annuus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 267–272, 2002.
- MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. L.; PAVANELLO, L. G.; CAVALETTI, O.; MANTELATTO, P. E.; BONOMI, A.; ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825–835, 2014.
- NASCIMENTO, W. G. DO; PRADO, I. N. DO; JOBIM, C. C.; EMILE, J. C.; SURAULT, F.; HUYGHE, C.. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 896–904, 2008. Sociedade Brasileira de Zootecnia.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G.; FREITAS, A. K. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 293–301, 2002a.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BERNARDES, R. A. C.; ARBOITE, M. Z.; CERDOTES, L.; PEIXOTO, L. A. O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 302–312, 2002b.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; NÖRNBERG, J. L.; ALVES FILHO, D. C.; MELLO, R. O.; SOUZA, A. N. M.; PELLEGRINI, L. G. Avaliação da qualidade e do valor nutritivo da silagem de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 1, p. 120–133, 2004.
- NORSE, D. Low carbon agriculture: Objectives and policy pathways. **Environmental Development**, v. 1, n. 1, p. 25-39, 2012.
- ORRICO JUNIOR, M. A. P.; RETORE, M.; MANARELLI, D. M.; SOUZA, F. B.; LEDESMA, L. L. M.; ORRICO, A. C. A. Forage potential and silage quality of four varieties of saccharine sorghum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1201–1207, 2015. Embrapa Informação Tecnológica.

PARRELLA, R. A. C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELLA, N. N. L. D.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; SHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando a produção de etanol. XXVIII Congresso nacional de milho e sorgo. **Anais...** . p.2858–2866, 2012. Goiânia.

PASSINI, R.; SILVEIRA, A. C.; ANTONIO, E.; TITTO, L.; RODRIGUES, H. M.; ARRIGONI, M. B.; COSTA, C.; LOYOLA, A. Silagem de grãos úmidos de milho e de sorgo e níveis protéicos sobre desempenho e características da carcaça de novilhos superprecoces. **Acta Scientiarum**, v. 24 n. 4, p. 1133–1140, 2002.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; ROBAINA, C. R. P.; LAURANI, R. A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p. 145–150, 2002.

PEREIRA, A. C.; GONÇALVES, L. C.; LUIZA, A. N. A.; CRUZ, C. Avaliação da silagem do híbrido de sorgo BR 601 com aditivos – alterações nos teores de matéria seca, frações fibrosas e digestibilidade “in vitro” da matéria seca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, p. 153–163, 2008.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118–127, 2013.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1º ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

PRADO, R. D. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, n. 1, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

REGASSA, T. H.; WORTMANN, C. S. Sweet sorghum as a bioenergy crop: Literature review. **Biomass and Bioenergy**, n. 64, p. 348–355, 2014.

REDDY, B. V. S.; REDDY, P. S. Sweet sorghum: characteristics and potential. **International Sorghum and Millets Newsletter**, v. 44, n. Table 2, p. 26–28, 2003.

RIBEIRO, C. G. M.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C.; SALIBA, E. O. S.; CASTRO, G. H. F.; RIBEIRO JUNIOR, G. O. Padrão de fermentação da silagem de cinco genótipos de sorgo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 6, p. 1531–1537, 2007. Escola de Veterinária UFMG.

RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B.; MACHADO, J. R. A.; TABOSA, J. N.; SIMPLÍCIO, J. B. Manejo cultural. In: I. PEREIRA FILHO, A.; RODRIGUES, J. A. S. (Orgs.); **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1º ed, p.123–139, 2015. Brasília, DF: Embrapa.

- RODRIGUES, J. A. S.; PIRES, D. A. A.; GONÇALVES, L. C.; PEREIRA, L. G. R. Melhoramento de sorgo forrageiro e produção de silagem de alta qualidade. XV Simposio "Productividad en ganado de corte". **Anais...** . p.66–75, 2012.
- RODRIGUES, R. C. **Métodos de análises bromatológicas de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos**, 2010. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado.
- ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E. Acumulação de materia seca e macronutrientes pelo sorgo sacarino. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 38, n. 1, p. 223–242, 1981.
- \_\_\_\_\_. Estudo preliminar sobre a diagnose foliar do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 33–38, 1982. Brasília, DF.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SCHAFFERT, R. E.; SANTOS, F. G. DOS; BORGONNOVI, R. A. Sorgo sacarino: um recurso renovável para produção em álcool. Congresso Brasileiro de Energia. **Anais...** . p.957–967, 1978. Rio de Janeiro, RJ.
- SERRÃO, M. G.; MENINO, M. R.; LOURENÇO, M. E.; et al. Efeitos da água salina e da adubação azotada na composição foliar em macronutrientes e na produção do sorgo sacarino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 163–172, 2011. Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal.
- SILVA, A. **Vinhaça concentrada de cana-de-açúcar: monitoramento das propriedades químicas do solo e mineralização líquida de nitrogênio**, 2012. 109 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia na Agricultura e no Ambiente) Centro de energia nuclear na agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.
- SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 38–43, 2014.
- SILVA, A. T. B.; SPERS, R. G.; WRIGHT, J. T. C.; COSTA, P. R.. Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. **Revista de Administração**, v. 48, n. 4, p. 727–738, 2013. Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 235 p.

SILVA, F. C.; ABREU, M. F. DE.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; BARRETO, W. DE. O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C. (Orgs.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2º ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p. 2009.

SILVA, R.; SANTOS, A.; TABOSA, J. N.; GOMES, F.; ALMEIDA, C. Avaliação de Diferentes Genótipos de Sorgo para Forragem e Silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 225–233, 2012.

SINGH, M. P.; ERICKSON, J. E.; SOLLENBERGER, L. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; FEDENKO, J. R. Mineral composition and biomass partitioning of sweet sorghum grown for bioenergy in the southeastern USA. **Biomass and Bioenergy**, v. 47, p. 1–8, 2012. Elsevier Ltd.

SOUZA, V. G. DE; PEREIRA, O. G.; MORAES, S. A.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S. C.; ZAGO, C. P.; FREITAS, E. V. V. Valor nutritivo de silagens de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 753–759, 2003.

SRINIVASA-RAO, P.; REDDY, B. V. S.; NAGARAJ, N.; UPADHYAYA, H. D. Production for Diversified Uses. In: WANG, Y. H.; UPADHYAYA, H. D.; KOLE, C. (Orgs.); **Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum. Series on Genetics, Genomics and Breeding of Crop Plants**. 1º ed, p.01–27, 2014. Boca Raton: CRC Press.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, MARCOS O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 276-283, 2007.

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. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 3, p. 248-251, 1997.

TEIXEIRA, L. P. B.; CARNEIRO, R. A. F. Bioetanol: novos rumos e os desafios de sua regulação. **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 3, n. 1, p. 59–72, 2013.

THEURETZBACHER, F.; BAUER, A.; LIZASOAIN, J.; BECKER, M.; ROSENAU, T.; POTTHAST, A.; FRIEDL, A.; PIRINGER, G.; GRONAUER, A. Potential of different *Sorghum bicolor* (L. moench) varieties for combined ethanol and biogas production in the Pannonian climate of Austria. **Energy**, v. null, n. null, 2013.

TRIANA, C. A. R. Balance energético del etanol brasileiro: comparación entre métodos de medición. **Punto de vista**, v. 3, n. 5, p. 7-30, 2012.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 234–245, 2007.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, v. 40, n. null, p. 1-12, 2012.

ZHAO, Y. L.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; et al. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, v. 111, n. 1-2, p. 55–64, 2009.

WOODS, J. The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. **Energy for Sustainable Development**, v. 5, n. 1, p. 31–38, 2001.