MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE

# EFEITOS DE ESTRESSES BIÓTICOS SOBRE OS PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

FÁBIO LEAL SANTOS DA SILVA

2015

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**FÁBIO LEAL SANTOS DA SILVA**

# EFEITOS DE ESTRESSES BIÓTICOS SOBRE OS PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de "Mestre em Ciências".

Orientador
Prof. Dr. Luiz Fernando G. de Oliveira Jr.

Co-orientador
Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2015

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA SISTEMA DE BIBLIOTECAS**
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Silva, Fábio Leal Santos
S586e Efeitos de estresses bióticos sobre os parâmetros ecofisiológicos e componentes de produção de quatro variedades de cana-de-açúcar / Fábio Leal Santos Silva ; orientador Luiz Fernando G. de Oliveira JR. – São Cristóvão, 2015.
69 f. : il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade)– Universidade Federal de Sergipe, 2015.

1. Cana– de– açúcar – Doenças e pragas. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Fitopatologia. I. Oliveira Jr., Luiz Fernando G. de, orient. II. Título.

CDU 633.61

**FÁBIO LEAL SANTOS DA SILVA**

# EFEITOS DE ESTRESSES BIÓTICOS SOBRE OS PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de "Mestre em Ciências".

APROVADA em 31 de julho de 2015.

Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi
UFS

Prof. Dr. Marcelo de Menezes Cruz
UFAL

Prof. Dr. Luiz Fernando Garassali de Oliveira Jr.
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Aos meus pais...*
*(in memorian)*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr., pela orientação e paciência ao longo de todo o mestrado.

Ao professor Dr. Paulo Roberto Gagliardi, pela co-orientação e amizade.

Ao João Paulo Silva Sousa (Jotapê) e à Roberta Samara Nunes de Lima, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e nos ajustes metodológicos.

À equipe do Laboratório de Ecofisiologia e Pós-colheita (ECOPOC), Airles, Amanda, Hugo, Itala, João Paulo de Melo, João Thiago, Marcelle, Maria Priscilla, Ricardo e Thallys pelo companheirismo e auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório.

À Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), pela disponibilização do material propagativo das variedades de cana-de-açúcar utilizado no experimento.

Aos funcionários do Campus Rural da UFS, pelo auxílio na condução do experimento.

Ao Grupo de Pesquisa em Conservação, Melhoramento e Gestão de Recursos Genéticos (GENAPLANT), pelos trabalhos com PCR.

Aos professores Dr. Leandro Bacci e Dr. Jailson Lara Fagundes, pelos conselhos referentes à dissertação (sempre oportunos).

À minha esposa Kellen Josephine Muniz de Lima, pelo amor, companheirismo, incentivo, paciência e apoio incondicionais em todos os momentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado.

Aos meus familiares, amigos (as), profissionais e todos (as) que de alguma forma contribuíram para a elaboração e execução deste trabalho de pesquisa.

## SUMÁRIO


Página

LISTA DE FIGURAS ..... i
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS ..... ii
RESUMO ..... iii
ABSTRACT ..... iv
1. INTRODUÇÃO GERAL ..... 5
2. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 7
2.1. Cultura da cana-de-açúcar: contexto econômico ..... 7
2.2. Variedades ..... 8
2.3. Estresses bióticos ..... 10
2.4. Raquitismo da soqueira ..... 11
2.5. Matocompetição causada por *Brachiaria decumbens* ..... 12
2.6. Trocas gasosas ..... 14
2.7. Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b* ..... 15
2.8. Fluorescência da clorofila *a* ..... 15
3. CONCLUSÕES GERAIS ..... 17
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 17
5. ARTIGO 1: RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E DE CRESCIMENTO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS AO ESTRESSE BIÓTICO INDUZIDO POR *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* ..... 21
Resumo ..... 21
Abstract ..... 22
5.1. Introdução ..... 23
5.2. Material e Métodos ..... 24
5.2.1. Material vegetal ..... 24
5.2.2. Isolamento e inoculação de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* ..... 25
5.2.3. Confirmação da identidade do isolado via PCR-específico ..... 25
5.2.4. Trocas gasosas ..... 26
5.2.5. Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b* ..... 27
5.2.6. Fluorescência da clorofila *a* ..... 27
5.2.7. Componentes de produção: biométricos e tecnológicos ..... 27
5.2.8. Delineamento experimental e análises estatísticas ..... 28
5.3. Resultados ..... 28
5.3.1. Confirmação da identidade do isolado via PCR-específico ..... 28
5.3.2. Trocas gasosas ..... 29
5.3.3. Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b* ..... 30
5.3.4. Fluorescência da clorofila *a* ..... 31
5.3.5. Componentes de produção: biométricos e tecnológicos ..... 32
5.4. Discussão ..... 34
5.5. Conclusões ..... 39
5.6. Referências Bibliográficas ..... 39
6. ARTIGO 2:TROCAS GASOSAS E HABILIDADE COMPETITIVA DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À MATOCOMPETIÇÃO COM *Brachiaria decumbens* Stapf. ..... 43
Resumo ..... 43
Abstract ..... 44
6.1. Introdução ..... 45
6.2. Material e Métodos ..... 46
6.3. Resultados e Discussão ..... 48
6.4. Conclusões ..... 54
6.5. Referências Bibliográficas ..... 54
ANEXOS ..... 56

## LISTA DE FIGURAS


| Figura | | Página |
|---|---|---|
| 5.1 | Sistema Kuijper de numeração de folhas de cana-de-açúcar | 26 |
| 5.2 | PCR-específico | 28 |
| 5.3 | Parâmetros de trocas gasosas | 30 |
| 5.4 | Parâmetros de clorofila | 31 |
| 5.5 | Parâmetros de fluorescência da clorofila | 32 |
| 5.6 | Parâmetros biométricos | 33 |
| 5.7 | Parâmetros tecnológicos | 34 |
| 6.1 | Parâmetros de trocas gasosas | 50 |
| 6.2 | Clorofila total *a* + *b* | 51 |
| 6.3 | Parâmetros biométricos | 52 |
| 6.4 | Parâmetros tecnológicos | 53 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A Taxa fotossintética
Gs Condutância estomática
E Transpiração
Ci Concentração interna de $CO_2$
$DPV_{folha-ar}$ Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar
EUA Eficiência do uso da água
Chla Clorofila a
Chlb Clorofila b
F0 Fluorescência inicial
Fm Fluorescência máxima
Fv/Fm Eficiência máxima do PSII
PSII Fotossistema II
EMC Estatura média dos colmos
DMC Diâmetro médio dos colmos
NPI Número de perfilhos industrializáveis por metro linear
TCH Estimativa de produtividade
PMC Peso médio dos colmos
PP Peso da parcela
°Brix Teor de sólidos solúveis
RSD Raquitismo da soqueira
Lxx *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*

**RESUMO**

SILVA, Fábio Leal Santos da. **Efeitos de estresses bióticos sobre os parâmetros ecofisiológicos e componentes de produção de quatro variedades de cana-de-açúcar.** São Cristóvão: UFS, 2015. 69p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.), entando a atividade do setor sucroenergético brasileiro em contínua expansão, o que pode ser constatado devido ao aumento crescente tanto da capacidade produtiva como das áreas agrícolas destinadas à cultura. No entanto, o aumento dos custos de produção e a expansão do cultivo para áreas menos produtivas têm exigido cada vez mais estratégias capazes de salvaguardar a rentabilidade do setor. Nesse sentido, os estudos dos fatores ambientais que limitam o rendimento dos canavias são fundamentais, podendo-se citar os estresses bióticos causados pelos microrganismos fitopatogênicos e pelas plantas infestantes. As plantas respondem de formas diferentes aos diversos tipos de estresse, sendo que, em geral, são primeiramente afetadas em suas propriedades fisiológicas e fotossintéticas. Isto posto, a análise dos parâmetros ecofisiológicos – sendo uma ferramenta capaz de detectar pequenos desvios da normalidade do desempenho fotossintético – pode fornecer informações úteis acerca do comportamento das plantas sob as condições estressantes causadas por doenças e pela matocompetição. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento de quatro diferentes variedades de cana-de-açúcar submetidas aos estresses causados pela bactéria *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* (*Lxx)* – agente causal da doença Raquitismo da soqueira (RSD) – e pela competição com a planta infestante *Brachiaria decumbens* Stapf., correlacionando os dados de produção com as respostas ecofisiológicas decorrentes da condição de estresse. Para tal, segmentos de colmo com apenas uma gema foram plantados em bandejas plásticas e mantidos em casa de vegetação, sendo as mudas posteriormente transplantadas para o campo, onde foram mensurados os parâmetros de produção (biométricos e tecnológicos), a fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas de plantas sujeitas ou não aos fatores de estresse mencionados. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelas variedades Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541; e as subparcelas pela imposição ou não do fator de estresse. Em relação à inoculação de *Lxx*, as variedades RB92579 e RB951541 foram menos sensíveis aos efeitos do RSD, uma vez que, tanto parâmetros ecofisiológicos como de produção foram pouco influenciados pela doença, ao passo que as variedades RB867515 e Co 997 sofreram alterações em diversos parâmetros, com destaque para o declínio da taxa fotossintética e redução da estatura e diâmetro dos colmos. Em relação à matocompetição com *B. decumbens*, as quatro variedades testadas foram afetadas em todos os parâmetros, acarretando em perdas expressivas de produtividade, sendo a variedade RB92579 a que demonstrou maior habilidade competitiva. Assim, uso da ferramenta de análise ecofisiológica é viável no auxílio aos trabalhos de seleção de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes às situações adversas própria do seu cultivo.

**Palavras-chave:** *Saccharum* ssp, Raquitismo da soqueira (RSD), *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* (*Lxx*), Matocompetição em cana-de-açúcar, *Brachiaria decumbens*.

---

* Comitê Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr. – UFS (Orientador), Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi – UFS (Co-orientador).

**ABSTRACT**

SILVA, Fábio Leal Santos da. **Biotic stresses effects on the ecophysiological parameters and yield components of four sugarcane varieties.** São Cristóvão: UFS, 2014. 69p. (Thesis - Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Brazil is the main world producer of sugarcane (*Saccharum* ssp.), being the activity of the Brazilian sugarcane industry in continuous expansion, which can be seen due to increasing both the production capacity as agricultural areas intended for the cultivation. However, the increase of the production costs and the expansion of cultivation to less productive areas have increasingly demanded strategies to safeguard the sector's profitability. In this sense, studies of environmental factors that limit the yield of sugarcane crops are fundamental and can cite the biotic stresses caused by pathogenic microorganisms and the weeds. Plants respond differently to various types of stress, and, in general, are firstly affected in their physiological and photosynthetic properties. Therefore, the analysis of ecophysiological parameters - being this a tool to detect small deviations from normality of the photosynthetic performance - can provide useful information about the behavior of plants under stressful conditions caused by the disease and weed competition. Thus, this study aimed to evaluate the behavior of four different sugarcane varieties submitted to the stresses caused by the bacterium *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*) - causal agent of Ratoon stunting disease (RSD) - and competition with the weed plant *Brachiaria decumbens* Stapf., correlating the production data with the ecophysiological responses resulting from the stress condition. To this finality, stem segments with just one bud were planted in plastic trays and kept in a greenhouse, being the seedlings subsequently transplanted to the field, where were measured both yield parameters (biometric and technological), the fluorescence of chlorophyll *a* and the gas exchange of plants subject, or not, to mentioned stressors. The experimental design used was the randomized block design with four replications, in a split-plot scheme, being the plots composed by varieties Co 997, RB867515, RB92579 and RB951541; and the subplots by the induction or not of stress factor. Regarding *Lxx* inoculation, RB92579 and RB951541 varieties were less sensitive to the RSD effects, since both ecophysiological and yield parameters were just a little bit affected by disease, while RB867515 and Co 997 varieties underwent changes in many parameters, highlighting the decline of photosynthetic rate and the reduction of height and diameter of the stalks. Regarding weed competition with B. decumbens, the four varieties tested were affected in all parameters, resulting in significant losses of yield, being that the RB92579 variety showed higher competitive ability than the others. Thus, the use of ecophysiological analysis tool is feasible to aid the work of selection of tolerant sugarcane genotypes to typical adverse situations of his cultivation.

**Key-words:** *Saccharum* ssp, Ratoon stunting disease (RSD), *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* (*Lxx)*, Sugarcane weed competition, *Brachiaria decumbens*.

---

* Supervising Committee: Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr. – UFS (Orientador), Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi – UFS (Co-orientador).

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.Híbridos) tem sido importante para a economia do Brasil desde o início do século XVI e encontra-se em contínua expansão, com aumento progressivo da capacidade produtiva e de área plantada ao longo dos últimos anos, sendo o país o principal produtor mundial. No entanto, apesar de expressivo, o setor sucroenergético brasileiro vem passando por certas dificuldades decorrentes principalmente de uma política nacional desfavorável ao setor que culminou no aumento dos custos de produção e encerramento das atividades de várias usinas em todo o país (NEVES; TROMBIN, 2014).

Este cenário exige, cada vez mais, que se busquem estratégias e tecnologias voltadas para o incremento da produtividade de maneira sustentável, o que requer o conhecimento apurado das influências que o meio ambiente exerce nas plantas cultivadas (BEHMANN et al., 2015). Dentre os principais fatores que afetam o rendimento dos canaviais estão os estresses causados pelas doenças e pelas plantas daninhas. No caso das doenças, a ação do patógeno pode afetar, através de diversos mecanismos, o metabolismo vegetal, comprometendo o balanço entre a demanda da planta por fotoassimilados e a sua capacidade de assimilação fotossintética (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007). Na matocompetição, a concorrência por recursos vitais, como água, $CO_2$, nutrientes, radiação e espaço compromete o desenvolvimento da planta, alterando suas características morfológicas e fisiológicas severamente (GALON et al., 2013).

Dentre as principais doenças que afetam a cana-de-açúcar, pode-se destacar o Raquitismo da soqueira (RSD), causada pela bactéria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*), responsável por perdas severas na produção e nos atributos de qualidade da cana-de-açúcar em todo o mundo (TIWARI et al., 2012). No Brasil encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras do país (TOKESHI; RAGO, 2005), não havendo produtos químicos registrados para seu controle nem cultivares imunes, o que têm estimulando pesquisadores a buscarem diferentes métodos que permitam classificar os genótipos quanto a tolerância/susceptibilidade ao RSD (GAGLIARDI, 2008; ROS, 2004; URASHIMA; MARCHETTI, 2013).

Dentre as principais plantas invasoras presentes nos canaviais, pode-se destacar a gramínea *Brachiaria decumbens* Stapf, conhecida popularmente pela denominação de capim-braquiária. Originária da África do Sul tornou-se frequente em diversos pontos do Brasil. Inicialmente introduzida no país como planta forrageira (ainda hoje utilizada para esse fim) tornou-se uma invasora poderosa, infestando não só terrenos baldios e beiras de estrada, como também pomares e lavouras anuais e perenes (LORENZI, 2008). Sendo de difícil controle, a

matocompetição de espécies do gênero *Brachiaria* nos canaviais pode provocar severas alterações nas características morfoanatômicas, (FIGUEIREDO et al., 2013) e fisiológicas da cana-de-açúcar (GALON et al., 2013), tendo como consequência redução significativa de produção.

O uso de uma grande variedade de cultivares tem caracterizado a indústria da cana-de-açúcar no Brasil desde 1990, com diversas variedades disponíveis para solos, condições ambientais e tempo de colheita específicos (URASHIMA; MARCHETTI, 2013). Nesse sentido, levando-se em conta que os fatores causadores de estresses geralmente prejudicam as propriedades fisiológicas e fotossintéticas das plantas, os parâmetros ecofisiológicos, tais como os relacionados com as trocas gasosas e com a fluorescência da clorofila *a*, podem fornecer informações úteis do desempenho fotossintético das plantas sujeitas à convivência com doenças e plantas infestantes (ALVES et al. 2011; GALON et al., 2013; GUO et al., 2005, VISWANATHAN et al., 2014) tornando-se uma ferramenta promissora para uso em programas de triagem e seleção de genótipos tolerantes às condições adversas de cultivo (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Assim, no intuito de auxiliar os trabalhos de seleção, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os parâmetros de produção (biométricos e tecnológicos) e parâmetros ecofisiológicos de quatro variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB92579, RB951541 e Co 997) submetidas à inoculação artificial de *Lxx* e à matocompetição com *B. decumbens* no intuito de buscar as correlações entre esses parâmetros e fornecer informações úteis acerca dos graus de sensibilidade das variedades citadas ante os efeitos dos estresses mencionados nas condições edafoclimáticas do estado de Sergipe.

# 2. REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 Cultura da cana-de-açúcar: contexto econômico

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum L*, sendo este constituído por pelo menos seis espécies. A cana-de-açúcar cultivada é um híbrido multiespecífico (*Saccharum* ssp.Híbridos) e características como número de colmos por planta, altura e diâmetro do colmo, comprimento e largura das folhas e arquitetura da parte aérea são definidas pela variedade, sendo, no entanto, bastante influenciadas pelo clima, manejo e práticas culturais utilizadas (MAGRO et al., 2011).

A cultura da cana-de-açúcar tem sido importante para a economia do Brasil desde o início do século XVI e encontra-se em contínua expansão, com aumento progressivo da capacidade produtiva e de área plantada ao longo dos últimos anos, sendo o país o principal produtor mundial. O Produto Interno Bruto (PIB) do setor sucroenergético na a safra 2013/14 representou um aumento 44% em relação à safra 2008/2009. Quando se considera a movimentação financeira total do setor (somatório de todas as vendas dos diversos elos da cadeia e dos serviços prestados pelos agentes facilitadores) o aumento para os mesmos períodos foi de 16,2% (NEVES; TROMBIN, 2014).

Na safra 2015/2016 o Brasil deverá produzir em torno de 654,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em pouco mais de 9 milhões de hectares, distribuídos em todos estados produtores, representando, em relação à safra 2014/2015, um incremento tanto da produção estimada (+3,1%), quanto da área cultivada (+0,7%) e da produtividade (+2,4%), passando de 70.495 kg/ha para 72.170 kg/ha. Em Sergipe, a safra 2015/2016 deverá produzir 2,48 milhões de toneladas, equivalendo a um incremento de 4,4% em relação à safra passada. A área cultivada também apresenta incremento de 1,5% e a produtividade estimada é de 55 mil Kg/ha, equivalendo a um incremento de 2,8% em relação à safra 2014/2015 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015)

Esses números, embora se mostrem favoráveis à cultura (e são) não representam de todo a atual realidade do setor sucroenergético brasileiro que, apesar de liderar o ranking mundial, vem passando por certas dificuldades decorrentes principalmente de uma política nacional desfavorável ao setor que culminou no aumento dos custos de produção. Esse fato, aliado à inevitável expansão do cultivo para áreas menos produtivas, têm comprometido significativamente a rentabilidade do setor, refletindo no fechamento de dezenas de usinas em todo o Brasil (NEVES; TROMBIN, 2014).

Tal cenário, no entanto, não reduz a importância socioeconômica da cultura da cana-de-açúcar para o país. Ao contrário, estimula cada vez mais a busca de estratégias capazes de contornar as situações desfavoráveis e de tecnologias voltadas para o incremento da produtividade e eficiência no uso dos recursos e insumos.

## 2.2 Variedades

Uma das principais tecnologias que contribuem para o aumento de produtividade nos canaviais é a tecnologia "variedades", sendo essas desenvolvidas pelas instituições de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), que realizam o melhoramento genético da cana de açúcar buscando variedades adaptadas aos diversos ambientes agroecológicos. Dentre essas instituições se destaca a RIDESA, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (antes Sucroalcooleiro), com um acervo varietal de 78 variedades (RIDESA, 2010) que ocupam 62,0% da área de cultivo e 64,8% da área de plantio do Brasil (CHAPOLA et al., 2013)

Das quatro variedades utilizadas no presente ensaio, três foram desenvolvidas pela RIDESA: RB867515, RB92579 e RB951541.

A variedade RB867515 foi lançada oficialmente como variedade comercial pela Universidade Federal de Viçosa, em março de 1997. Resultou do policruzamento entre a variedade RB72454 (progenitora) e diversas outras variedades (doadoras de pólen) ao acaso, sendo, por isso, impossível especificar a variedade "pai". Pode-se citar, dentre as principais características dessa variedade, o alto teor de sacarose, alta produtividade, rápido desenvolvimento, pouca rachadura, boa brotação (planta e socas) e perfilhamento de alta uniformidade. Apresenta melhor desempenho quando cultivada em solos de textura leve e fertilidade média (RIDESA, 2010). Segundo o Censo Variental 2012, essa variedade lidera o ranking nacional, representando 26,4 % do total cultivado no país. Em Sergipe, no entanto, é a quinta mais cultivada, representando 4,89% do total cultivado (CHAPOLA et al., 2013). Em relação ao raquitismo da soqueira (RSD), foi considerada tolerante por Ros (2004) e susceptível, tanto por Urashima e Marchetti (2013) como por Gagliardi e Camargo (2009), sendo constatada perda severa de rendimento quando infectada.

A variedade RB92579, liberada em 2003 pela Universidade Federal de Alagoas, resultou do cruzamento biparental entre a variedade RB75126 (progenitora) e a variedade RB72199 (doadora de pólen). Apresenta características importantes a fim de minimizar os efeitos negativos da irregularidade climática típica do nordeste brasileiro, sendo esse um dos

principais fatores responsáveis pelas baixas produtividades alcançadas pela região. Nesse sentido, se pode citar a boa recuperação após períodos de seca, alta eficiência no uso da água e nutrientes, além de altos índices de produtividade agrícola, perfilhamento, fechamento das entrelinhas e brotação das socarias (RIDESA, 2010). Ocupa importante posição no cenário nacional, sendo a quarta variedade mais cultivada no país, com 5,03% do total. Já em Sergipe se destaca como a variedade mais cultivada no estado, representando 32,64% do total (CHAPOLA et al., 2013). Foi considerada tolerante ao RSD por Ros (2004) e susceptível, por Urashima e Marchetti (2013)

A variedade RB951541, liberada em 2010, também foi obtida pela Universidade Federal de Alagoas. Resultou do cruzamento entre as variedades RB72454 e SP79-1011. Pode-se destacar, dentre suas principais características, a precocidade, o bom fechamento das entrelinhas e alta longevidade do canavial. Possui média produtividade agrícola, médio perfilhamento, boa brotação da soca, rápido desenvolvimento e alto teor de sacarose (RIDESA, 2010). Embora em Sergipe essa variedade seja inexpressiva, vale ressaltar que ela, apesar do pouco tempo de lançada, já ocupa a oitava posição em área plantada e cultivada no estado vizinho, Alagoas (CHAPOLA et al., 2013), indicando que é bastante promissora e que pode vir a ser uma alternativa interessante para os canaviais do Estado de Sergipe.

A variedade Co 997 foi lançada em 1950 pelo "Sugarcane Breeding Institute", situado na cidade de Coimbatore (Tamil Nadu – Índia), tornando-se a variedade dominante em Andhra Pradesh (SUGARCANE BREEDING INSTITUTE, 2013a). Alcançou reconhecimento e popularidade na região tropical da Índia durante as décadas de 60 e 70 (SUGARCANE BREEDING INSTITUTE, 2013b). Foi introduzida no Brasil visando enriquecer o banco de germoplasma da estação de floração e cruzamento da Serra do Ouro (Murici – AL), tendo sido seu cultivo incrementado em Pernambuco e Alagoas. Foi estudada e divulgada pelo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) do Instituto do Açúcar e do Álcool – IAA (REPSOLD; PEIXOTO, 1984). No entanto, ainda que possua importância histórica, essa variedade perdeu espaço para as variedades mais modernas, possuindo alguma significância apenas no estado de Alagoas e, ainda assim, ocupando a 19ª posição, com apenas 0,3% da área cultivada no estado (CHAPOLA et al., 2013). No presente trabalho, foi incluída como padrão susceptível ao RSD, uma vez que são reconhecidas sua alta susceptibilidade e perda de rendimento ante o RSD (RAO, 1984).

## 2.3 Estresses bióticos

Em qualquer lugar onde as plantas cresçam, existirão diversos fatores de estresses que limitarão, em maior ou menor grau, o seu desenvolvimento. O estresse provoca alterações funcionais e prejudica as condições ótimas para a vida vegetal. Os organismos respondem de forma diferente aos diversos estresses, sendo que muitas vezes seus sintomas podem não ser visíveis de imediato (LARCHER, 2006).

Os estresses ambientais podem se dividir em abióticos, cujos fatores edafoclimáticos representam uma grande porção, e estresses bióticos, causados por organismos "vivos", como as plantas, através da competição por recursos vitais, alelopatia e parasitismo; os microrganismos, pela ação dos fungos, bactérias e vírus; animais, através da herbivoria ou pisoteio; e o homem, através da poluição, da compactação do solo, uso de agroquímicos, fogo, etc. (LARCHER, 2006). Nesse estudo serão tratados apenas os estresses causados por doenças e plantas infestantes.

No caso das doenças, a indução de defesa pela planta durante o contato com o patógeno é dispendiosa, aumentando sua demanda por fotoassimilados, o que provaca alterações no metabolismo primário. Além disso, o patógeno procura manipular o metabolismo dos carboidratos da planta para a sua própria necessidade. Essa retirada de nutrientes pelo patógeno aumenta ainda mais a demanda da planta por assimilados. Outro aspecto importante está relacionado, em alguns casos, ao desenvolvimento de áreas cloróticas e necróticas decorrentes da infecção, com consequente redução de área fotossinteticamente ativa (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Na matocompetição, a concorrência por recursos vitais, como água, $CO_2$, nutrientes, radiação e espaço pode causar perdas significativas no rendimento das culturas e na qualidade do produto, uma vez que sob forte competição, uma planta cultivada pode ter suas características morfológicas e fisiológicas severamente alterados (GALON et al., 2013).

A busca pelo aumento da produtividade das culturas, de maneira sustentável, na agricultura moderna requer o conhecimento cada vez maior das influencias que o meio ambiente causa nas plantas cultivadas. A protecção eficaz das culturas exige a detecção precoce e precisa dos diferentes tipos de estresse biótico. Assim, diferentes tecnologias tem sido utilizadas na agricultura de precisão no intuito de detectar precocimente a presença de plantas daninhas, doenças e pragas nos cultivos, de modo a permitir a utilização das estratégias de controle de maneira eficaz e sustentável (BEHMANN et al., 2015).

## 2.4 Raquitismo da soqueira (RSD)

Dentre as doenças que podem limitar a produção da cana-de-açúcar, pode-se destacar o Raquitismo da soqueira (RSD), responsável por perdas severas na produção e nos atributos de qualidade da cana-de-açúcar (TIWARI et al., 2012). Embora o RSD tenha sido detectado pela primeira vez em 1944, em Queensland (Austrália) por Steindl (JAMES, 1996; TIWARI et al., 2012), apenas em 1980 o seu agente causal foi isolado, sendo este caracterizado como uma pequena bactéria corineforme (DAVIS et al., 1980). Mais tarde foi descrito como sendo *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* (DAVIS et al., 1984).

Hoje essa bactéria é denominada *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. (*Lxx*) e encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar do país (TOKESHI; RAGO, 2005). Os relatos referentes à sua incidência nas diversas variedades comerciais de cana-de-açúcar cultivadas em algumas dessas regiões, tais como São Paulo (URASHIMA et al., 2010; URASHIMA; MARCHETTI, 2013), Espírito Santo, oeste de Minas Gerais, sul da Bahia (PONTE et al., 2010), noroeste do Paraná (MARCUZ et al., 2009); refletem seu amplo espectro de ação.

Sendo restrita aos vasos xilemáticos, a bactéria Lxx parece prejudicar os processos metabólicos normais envolvidos no crescimento das canas infectadas. Os sintomas da doença em geral são potencializados sob condições de seca prolongada e seu impacto é maior na cana "soca" (rebrota). Sintomatologia da RSD ainda não foi claramente compreendida. Em geral, a doença não causa sintomas externos característicos. Por isso, um caso de baixa a moderada severidade pode não ser perceptível durante a inspeção visual de canaviais. Mesmo quando o crescimento é menor do que o esperado, a perda pode ser atribuída a outros fatores, como, por exemplo, características edafoclimáticas ou atuação de outros fitopatógenos. Os sintomas internos, quando ocorrem, podem variar com a fase de crescimento do caule e serão diferentes entre as variedades (TIWARI et al., 2012; TOKESHI; RAGO, 2005).

A perda de rendimento causada por RSD é proveniente da redução da altura e diâmetro de colmos, que, por vezes, também apresentam número reduzido. Essa perda é reforçada por condições de estresse, especialmente hídrico. A transmissão do patógeno de um campo para outro ou de uma região geográfica para outra se dá através de colmos de plantas infectadas utilizadas para propagação vegetativa. A bactéria limitada xilema é também transmitida mecanicamente a partir de ferramentas e equipamentos durante o plantio, colheita e cultivo da cultura. Como os sintomas da doença não são facilmente visíveis, podendo inclusive permanecer assintomática, a bactéria pode ser transmitida a grandes áreas facilmente (TIWARI et al., 2012).

Atualmente, a termoterapia, técnica cujo princípio básico é inativar as bactérias valendo-se do binômio tempo-temperatura sem, contudo, injuriar as gemas do rebolo, é a operação mais empregada para o tratamento dos toletes (URASHIMA; GRACHET, 2012). O controle de RSD visa reduzir a incidência da doença, procurando garantir o uso apenas de material propagativo sadio e implementação de práticas de desinfestação de ferramentas durante a colheita. Assim, além do tratamento térmico dos rebolos utilizados para o plantio, deve-se atentar para a orientação dos trabalhadores e para serviços de diagnósticos. O papel, portanto, do diagnóstico é fundamental para a gestão de RSD. A possibilidade de isolamento de *Lxx* facilitou o desenvolvimento de diagnósticos imunológicos e moleculares. A detecção de *Lxx* em folhas é útil por não ser destrutiva e pode aumentar a rapidez do diagnóstico (TIWARI et al., 2012).

Não existem produtos registrados para o controle químico e as informações sobre resistência varietal ainda não são conclusivas. No entanto, verificou-se que as diferentes variedades de cana-de-açúcar, ainda que cultivadas sob as mesmas condições edafoclimáticas, se comportam distintamente quanto ao grau de tolerância ao RSD (GAGLIARDI; CAMARGO, 2009).

O uso de uma grande variedade de cultivares tem caracterizado a indústria da cana no Brasil desde 1990, com diversas variedades disponíveis para solos, condições ambientais e tempo de colheita específicos. Esta característica permitiu que muitas doenças fossem controladas por cultivares resistentes (URASHIMA; MARCHETTI, 2013). Infelizmente, tal fato não ocorreu para RSD. A ausência de cultivares imunes e a ocorrência quase que generalizada de *Lxx* entre as cultivares comerciais de cana-de-açúcar do Brasil demonstram que os programas de melhoramento no Brasil, a exemplo de importantes paises produtores como Estados Unidos, Austrália e Índia, ainda não lograram êxito na busca de resistência varietal como principal estratégia para controlar RSD (HARRISON; DAVIS, 1986).

## 2.5 Matocompetição causada por *Brachiaria decumbens* Stapf

Conhecida popularmente pela denominação de capim-braquiária, ou simplesmente braquiária, a gramínea *Brachiaria decumbens* Stapf, originária da África do Sul, tornou-se frequente em diversos pontos do Brasil. Inicialmente introduzida no país como planta forrageira (ainda hoje utilizada para esse fim) tornou-se uma invasora poderosa, infestando não só terrenos baldios e beiras de estrada, como também pomares e lavouras anuais e perenes. As plantas daninhas interferem nos ecossistemas agrícolas interferindo no

desenvolvimento das plantas cultivadas através de diversos mecanismos, dentre eles a competição por elementos vitais. Problemas como redução da eficiência agrícola e aumento do custo de produção decorrentes da ação das plantas daninhas são consequências naturais (LORENZI, 2008).

Em cultivos de cana-de-açúcar, a matocompetição de espécies do gênero *Brachiaria*, podem provocar reduções das características morfoanatômicas foliares, (FIGUEIREDO et al., 2013); redução da área foliar e do número de folhas; redução do diâmetro e peso do colmo; bem como redução de parâmetros relacionados às trocas gasosas, como taxa fotossintética, condutância estomática e eficiência do uso da água (GALON et al., 2013), tendo como consequência redução significativa de produção.

O problema se torna mais grave quando uma área de pastagem, anteriormente cultivada com braquiária como espécie forrageira, é transformada em solo cultivado com espécies agrícolas. Embora a competição por elementos vitais não ocorra somente da planta daninha sobre a cultura de interesse agrícola (inter-específica), mas também no sentido inverso, vale ressaltar que a braquiária e extremamente invasora e resistente, se tornando um problema sério para o produtor na medida que, assim como outras plantas daninhas, adquiriu ampla capacidade de sobrevivência em áreas com grandes distúrbios e relativo baixo estresse ao crescimento vegetal (LORENZI, 2008).

Nesse contexto, torna-se fundamental traçar estratégias de manejo para minimizar o período de convivência entre a cana e a braquiária, uma vez que esta, mesmo em períodos de deficiência hídrica, se desenvolve de tal maneira que pode causar uma interferência competitiva capaz de provocar reduções de até 85% na produtividade dos colmos. Assim, o controle da matocompetição deve ser realizado de tal forma que permita à cana se desenvolver primeiro que a braquiária. Uma vez estabelecida essa condição, a cana se torna mais competitiva que as plantas daninhas, inibindo seu crescimento (KUVA et al., 2001).

Aqui também vale ressaltar a importância no manejo varietal nos canaviais, visando reduzir os efeitos dos estresses ambientais mediante uso de genótipos mais adaptados ao ambiente em questão. As diferentes variedades têm comportamentos diferentes quando submetidas as mesmas condições de competição. A escolha da variedade certa proporcionará a esta uma vantagem competitiva sobre a interferência das plantas daninhas, preservando suas características agronômicas e maiores produtividades (BARBOSA et al., 2013).

## 2.6 Trocas gasosas

As trocas gasosas são processos pelos quais a planta interage com a atmosfera liberando ou captando gases. Assim, durante a fotossíntese, a planta fixa $CO_2$ e libera $O_2$, enquanto na respiração ocorre o inverso, ou seja, a planta libera $CO_2$ e consome $O_2$, revertendo assim as trocas desses gases. Esse balanço de entra e saída de $CO_2$ é possível de ser detectado medindo-se as trocas gasosas, sendo a fotossíntese líquida o processo em que mais $CO_2$ é consumido na fotossíntese do que liberado pela respiração simultaneamente. Essa variável é naturalmente reduzida no escuro ou quando a planta está sob condições desfavoráveis para a assimilação (LARCHER, 2006).

Em condições normais, a cana-de-açúcar apresenta alta eficiência na conversão de energia radiante em energia química. Essa eficiência é afetada tanto por diversas características varietais, como pelos fatores ambientais (MAGALHÃES, 1987). As trocas gasosas entre as células e a atmosfera ocorrem pelo processo de difusão, que está diretamente ligado ao gradiente de concentração estabelecido em um determinado momento. O trabalho de assimilação fotossintética é melhorado com o aumento da concentração interna do $CO_2$. No entanto, em condições naturais, o gradiente de concentração de $CO_2$ entre o meio externo e o interior das plantas é muito fraco, sendo assim, a baixa concentração de $CO_2$ é o fator mais comum para a limitação das taxas fotossintética (LARCHER, 2006).

O aparato estomático exerce papel fundamental para a entrada de gases, influenciando significativamente o processo de ganho fotossintético, uma vez que é pela variação na abertura estomática que a planta controla o influxo de $CO_2$ na planta. Diversos fatores ambientais influenciam a abertura e fechamento dos estômatos e, consequentemente, a condutância estomática (inverso da resistência estomática à difusão dos gases) (LARCHER, 2006). Estresses causados pelo ambiente podem provocar o fechamento estomático, provocando o declínio da condutância estomática e consequente redução da concentração interna de $CO_2$ e da taxa fotossintética (ALVES et al., 2011; GONÇALVES et al., 2005; GONÇALVES et al., 2010; GUO et al. 2005; LEHRER; KOMOR, 2009; ZHAO et al., 2011).

Por isso, a análise dos parâmetros relacionados às trocas gasosas é uma ferramenta valiosa para correlacionar a influência das condições estressantes na assimilação de $CO_2$ pelas plantas com perdas de produtividade. Trabalhos realizados com cana-de-açúcar indicam que diferentes tipos de estresse, tanto abióticos (CHA-UM; KIRDMANEE, 2009; GALON et al., 2013; GONÇALVES et al., 2010) como bióticos (GALON et al., 2013; GONÇALVES et al., 2005; LEHRER; KOMOR, 2009; ZHAO et al., 2011) promovem alterações nos diferentes parâmetros das trocas gasosas, provocando perdas em diferentes componentes de produção.

## 2.7 Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b*

Nas plantas, para que o processo fotossintético possa ocorrer é preciso que, previamente, a energia radiante disponível seja absorvida pelos cloroplastos – local onde acontece a fotossíntese – o que ocorre através de receptores denominados pigmentos fotossintéticos que em sua maioria funcionam como um complexo-antena, captando a luz e enviando a energia para o respectivo centro de reação. Esses pigmentos/receptores são as clorofilas e os pigmentos acessórios (LARCHER, 2006).

A concentração desses pigmentos fotossinteticamente ativos está diretamente relacionada à capacidade de absorção da radiação e, por isso, sua deficiência reduz consideravelmente a intensidade fotossintética das plantas. A deficiência de clorofila pode estar relacionada a diversos fatores de estresse, tanto biótico como abiótico, e pode ser reconhecida pela alteração da coloração do tecido fotossintetizante, que se torna mais esmaecida, caracterizando um quadro de clorose (BACCI et al., 1998; LARCHER, 2006). Assim, a mensuração das clorofilas *a* e *b* nas folhas pode ser um indicador útil quanto à ação de algum fator de estresse capaz de provocar a redução do potencial fotossintético a partir da degradação das clorofilas.

Estudos mostram que diferentes variedades de cana-de-açúcar respondem diferentemente a determinados estresses a depender da maior ou menor capacidade que possuem de manutenção dos conteúdos dos pigmentos fotossintéticos quando sob esses estresses, sendo essa diferença de habilidade uma importante característica que pode ser utilizada em testes de seleção de variedades tolerantes aos diferentes tipos de estresses (SILVA et al., 2014).

## 2.8 Fluorescência da clorofila *a*

Após receberem a energia dos fótons de luz e passarem para um estado excitado (bastante instável, de vida curta), os pigmentos fotossintéticos dissipam essa energia radiante absorvida (desexcitação), sendo que apenas uma parte dela é aproveitada no processo fotoquímico; o restante é convertido em radiação fluorescente, fosforescente e calor (CAMPOSTRINI, 2010; LARCHER, 2006).

Esse fato é extremamente importante, uma vez que, sendo possível registrar a emissão de fluorescência em folhas intactas e tecidos verdes (fluorescência da clorofila *a in vivo*), pode-se avaliar, de forma sensível, o estado do fotossistema, bem como o efeito de influências ambientais sobre a fotossíntese. Trata-se, portanto, de uma importante ferramenta de detecção

das mudanças no aparato fotossintético, indicando ausência ou presença de comprometimento do mesmo em resposta aos estímulos ambientais e, consequentemente, dos estresses (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007; CAMPOSTRINI, 2010; LARCHER, 2006).

Este método consiste na medição da fluorescência da clorofila *a* emitida por uma determinada amostra de tecido vegetal exposta à um pulso saturante de luz, após adaptação prévia ao escuro, induzindo o aparato fotossintético (BAKER; ROSENQVIST, 2004; BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007; CAMPOSTRINI, 2010; LARCHER, 2006; MURCHIE; LAWSON, 2013). Durante essa rápida indução do fotossistema a um ponto máximo, ocorrem rápidas e grandes alterações na fluorescência, fornecendo informações úteis para a detecção de diferenças no desempenho fotossintético entre plantas, permitindo a aplicação do método em programas de triagem e seleção de plantas tolerantes a estresses ambientais. (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Assim, seu uso tem sido bastante difundido no estudo da fisiologia de plantas devido à facilidade com que se pode obter informações pormenorizadas sobre o estado do fotossistema II (PSII) que, devido à sua sensibilidade aos fatores abióticos e bióticos, torna esta técnica fundamental não só para a compreensão dos mecanismos fotossintéticos, mas também como um indicador mais amplo de como as plantas respondem às mudanças ambientais (MURCHIE; LAWSON, 2013). Isto, juntamente com baixo custo e facilidade de coleta de dados, resultou no aparecimento de uma grande variedade de tipos de instrumentos de medição e parâmetros calculados (MURCHIE; LAWSON, 2013). Apresenta ainda a vantagem de pode ser realizada em diferentes tempos em um mesmo material vegetal, uma vez que se trata de uma medição não destrutiva, (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Diversas variáveis podem ser determinadas por essas medições, podendo-se destacar: fluorescência inicial, basal ou mínima (F*0*), detectada antes da aplicação do pulso saturante de luz, com o tecido vegetal adaptado à condição de escuro (momento em que todos os centros de reação estão abertos); fluorescência máxima (F*m*), detectada durante a aplicação do pulso saturante de luz no momento em que todos os centros de reação estão fechados; fluorescência variável (F*v*), definida como a diferença entre F*m* e F*0* (F*v*=F*m*-F*0*) e rendimento quântico máximo do PSII, que consiste em uma medida do potencial máximo do rendimento quântico do PSII de uma dada amostra e é representada pela relação F*v*/F*m*, sendo calculada pela equação: F*v*/F*m* = (F*m* – F*0*)/F*m.* Está variável tem sido amplamente utilizada, uma vez que seu declínio é um bom indicador de dano fotoinibitório quando as plantas estão sujeitas a estresses do ambiente (BAKER; ROSENQVIST, 2004; CAMPOSTRINI, 2010; MURCHIE; LAWSON, 2013).

## 3. CONCLUSÕES GERAIS

As variedades RB92579, RB951541, RB867515 e Co 997 apresentam diferentes níveis de sensibilidade ante as diferentes condições de estresse, sendo o conhecimento de tais particularidades de suma importância para o correto manejo varietal, priorizando genótipos mais adaptados ao ambiente em que estão inseridos.

A análise dos parâmetros ecofisiológicos é mais uma ferramenta útil de auxílio aos trabalhos de seleção de genótipos de cana-de-açúcar mais adaptados na medida em que é capaz de fornecer informações minunciosas acerca do comportamento fisiológico e fotossintético das plantas, sendo esses, em geral, os primeiros processos afetados quando se instala uma condição de estresse.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. A.; GUIMARÃES, L. M. da S.; CHAVES, A. R. de M.; DAMATTA, F. M.; ALFENAS, A. C. Leaf gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of *Eucalyptus urophylla* in response to *Puccinia psidii* infection. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1831-1839, 2011.

BACCI, L.; VINCENZI, M. de; RAPI, B.; ARCA, B.; BENINCASA, F. Two methods for the analysis of colorimetric components applied to plant stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture,** v. 19, p. 167186, 1998.

BAKER N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany,**.v. 55, p. 1607-21, 2004.

BARBOSA, E. A.; JÚNIOR, A. dos S.; SANTOS, L. D. T.; COSTA, G. A.; CRUZ, L. R.; BARROS, R. E.; SANTOS I. T. Dinâmica de infestação de plantas daninhas em variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1920-1931, 2013.

BEHMANN, J.; MAHLEIN, A. –K.; RUMPF, T.; RÖMER, C.; PLÜMER, L. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 239-260, 2015.

BERGER, S.; SINHA, A. K.; ROITSCH, T. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant–pathogen interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 15/16, p. 4019-4026, 2007

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila A:** considerações teóricas e aplicações práticas. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.

CHAPOLA, R. G.; CRUZ, J. A. da; NUNES, I. K.; FERNANDES JÚNIOR, A. R. (Ed.). **Censo Varietal 2012**. ARARAS: CCA-UFSCar, 2013. 56 p.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China,** v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira de cana-de-açúcar**, v.2 – safra 2015/2016, n. 1 – Primeiro levantamento, Brasília: CONAB, Abril/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>.Acesso em: 07/07/2015.

DAVIS, M.J. ; GILLASPIE JR., A.G. ; HARRIS, R.W. ; LAWSON, R.H. Ratoon stunting disease of sugarcane: Isolation of the causal bacterium. **Science**, v.210, p. 1365-1367, 1980.

DAVIS, M. J.; GILLASPIE JR, A. G.; VIDAVER, A. K.; HARRIS, R. W. *Clavibacter*: a new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* sp. nov., subsp. nov. and *Clavibacter xyli* subsp. *Cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 34(2), p. 107-117, 1984.

FIGUEIREDO, P.A.M.; RAMOS, S.B.; VIANA, R.S.; LISBOA, L.A.M.; HEINRICHS, R. Alterações morfoanatômicas foliares da cana-de-açúcar na fase de estabelecimento em condições de matocompetição. **Planta daninha,** v. 31, n. 4, p.777-784, 2013.

GAGLIARDI, P. R. **Avaliação da resistência à *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, agente causal do raquitismo-da-soqueira (RSD), em variedades comerciais de cana-de-açúcar.** 2008. 119 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

GAGLIARDI, P. R.; CAMARGO, L. E. A. Resistência de variedades comerciais de cana-de-açúcar ao agente causal do raquitismo-da-soqueira. **Ciencia Rural (UFSM)**, v. 39, n.4, p. 1211-1214, 2009.

GALON, L.; CONCENCO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. F. da; GIACOBBO, C. L.; ANDRES, A. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. In: DUBINSKY, Z. (Ed.). **Photosynthesis**. Rijeka: In Tech, 2013. cap. 7, p. 185-208. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/55255> Acesso em: 20 jun. 2015.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GONÇALVES, M. C.; VEGA, J.; OLIVEIRA, J. G.; GOMES, M. M. A. Sugarcane yellow leaf virus infection leads to alterations in photosynthetic efficiency and carbohydrate accumulation in sugarcane leaves. **Fitopatologia Brasileira.** v. 30, n. 1, p.10-6, 2005.

GUO, D. -P.; GUO, Y. -P; ZHAO, J. -P.; LIU, H.; PENG, Y.; WANG, Q. -M.; CHEN, J. -S.; RAO, G. Z. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. *tsatsai*) after turnip mosaic virus infection. **Plant Science**, v. 168, p. 57-63, 2005.

HARRISON, N. A.; DAVIS, M. J. Infectivity titrations of *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* and sugarcane cultivars differing in susceptibility to ratoon stunting disease. **Plant Disease**. v. 70, n. 6, p. 556–558, 1986.

JAMES, G. A review of ratton stunting disease. **International Sugar Journal**, v.98, n. 1174, p.532-541, 1996.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II - capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: RiMa, 2006. 531 p.

LEHRER, A. T.; KOMOR, E. Carbon dioxide assimilation by virus-free sugarcane plants and by plants which were infected by Sugarcane Yellow Leaf Virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. v.73, p. 147-153, 2009.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil:** terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.(Ed.). **Ecofisiologia da Produção agricola.** Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 113-118.

MARCUZ, F. S.; SOUTO, E. R. de; VIEIRA, R. A.; MARRAFON, M. A.; BARBOZA, A. A. L; DAROS, E. Levantamento da incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em plantios de cana-de-açúcar do noroeste do Paraná. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, Edição Especial, p. 1935-1939, 2009.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. (Org.). **A dimensão do setor Sucroenergético**: mapeamento e quantificação da safra 2013/14. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

PONTE, E. C. de; SILVEIRA, S. F. da; CARNEIRO JR, J. de B.; LIMA, R. M. P de. Incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em áreas de multiplicação de cana-de-açúcar no Espírito Santo, sul da Bahia e oeste de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica.** v. 36, p. 310-321, 2010.

REPSOLD, C. A.; PEIXOTO, S. M. **A cultura da cana-de-aúcar.** Campos, RJ: IAA/PLANALSUCAR, 1984. 62 p. (Programa de capacitação para agricultura irrigada do norte fluminense, Documento de Ensino nº 39, Convênio MINTER/SERSE/DNOS/IICA).

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar.** Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010. 136 p.

RAO, M.M. Investigation of ratoon stunting disease of sugarcane. **Annual Report SBI**. v. 92, 1984.

ROS, P. B. **Avaliaçào da resistencia de variedades de cana-de-acúcar ao raquitismo-da-soqueira com base na taxa de colonizaçào dos colmos por *Leifsonio xyti* subsp. *xyti.*** 2004, 58f, Dissertaçào (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de Sào Paulo, Piracicaba, SP,

SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A. F. de L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SUGARCANE BREEDING INSTITUTE. **Crop improvement**: Plant Breeding - Release of varieties. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.sugarcane.res.in/images/sbi/article/past_research_achievements.pdf>. Acesso em 15 jun. 2015.

SUGARCANE BREEDING INSTITUTE. **Varieties**: Popular varieties in different parts of India. [S.l], 2013. Disponível em: <http://www.sugarcane.res.in/index.php/en/varieties>. Acesso em 15 jun. 2015.

TIWARI, A. K.; VISHWAKARMA, S. K.; KUMAR, P.; PANDEY, N.; LAL. M. Ratoon stunting disease (*Leifsonia xyli*) of sugarcane. **Plant Knowledge Journal**, v. 1, n. 1, p. 20-24, 2012.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Eds.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo, Agronômica Ceres, p.185-196, 2005.

URASHIMA, A. S.; MARCHETTI, L. B. L. Incidence and Severity of Leifsonia xyli subsp. xyli Infection of Sugarcane in Sao Paulo State, Brazil**. Journal of Phytopathology**, v.161(7-8), p.478-484, 2013.

URASHIMA, A. S.; GRACHET, N. G. Métodos de detecção de *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 37(1), p. 57-64, 2012.

URASHIMA, A. S.; GANEM JÚNIOR, E. DE J.; MARCHETTI, L. B. L.; GAGLIARDI, P. R. Incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em variedades de cana-de-açúcar a serem empregados para multiplicação no estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v. 36 (4), p. 322-328, 2010.

VISWANATHAN, R.; CHINNARAJA, C.; MALATHI, P.; GOMATHI, R.; RAKKIYAPPAN, P.; NEELAMATHI, D.; RAVICHANDRAN, V. Impact of *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV) infection on physiological efficiency and growth parameters of sugarcane under tropical climatic conditions in India. **Acta Physiologiae Plantarum.** v. 36, p. 1805-1822, 2014.

ZHAO, D., GLYNN, N. C., GLAZ, B., COMSTOCK, J. C., SOOD, S. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane. **Plant Disease**, v. 95 (6), p. 640-647. 2011.

## 5. ARTIGO 1: RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E DE CRESCIMENTO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS AO ESTRESSE BIÓTICO INDUZIDO POR *Leifsonia xyli* subsp. *xyli.*


## RESUMO

Dentre os estresses ambientais que afetam o cultivo de cana-de-açúcar pode-se destacar a doença Raquitismo da soqueira (RSD), cujo agente causal é a bactéria *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* (*Lxx)*. Essa doença é disseminada por todas as regiões produtoras e causa danos econômicos significativos, não sendo conhecidas variedades resistentes. Assim, no intuito de auxiliar os trabalhos de seleção, o presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento de quatro variedades de cana-de-açúcar inoculadas com *Lxx*, correlacionando os dados de produção com as respostas ecofisiológicas decorrentes dos efeitos da doença. Plantas com 180 dias de idade foram inoculadas com *Lxx* e após 270 dias foram avaliados parâmetros ecofisiológicos e de produção. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelas variedades Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541; e as subparcelas pela inoculação ou não da bactéria. Os resultados indicaram que as variedades RB92579 e RB951541 foram menos sensíveis aos efeitos do RSD, uma vez que, tanto parâmetros ecofisiológicos como de produção foram pouco influenciados pela doença, ao passo que as variedades RB867515 e Co 997 sofreram alterações em diversos parâmetros, com destaque para o declínio da taxa fotossintética e redução da estatura e diâmetro dos colmos, sendo, portanto, possível utilizar as ferramentas ecofisológicas como auxilio aos trabalhos de seleção de genótipos de cana-de-açúcar quanto à tolerância/susceptibilidade aos efeitos do RSD.


**Palavras-chave:** *Saccharum* ssp, Raquitismo da soqueira (RSD), estresse biótico, ecofisiologia da cana-de-açúcar.

**ABSTRACT**

**Título**: **PHOTOSYNTHETIC AND GROWTH RESPONSES OF FOUR SUGARCANE VARIETIES SUBMITTED TO BIOTIC STRESS INDUCED BY *Leifsonia xyli* subsp. *xyli.***

Among the environmental stresses affecting sugarcane crop can highlight the Ratoon stunting disease (RSD), whose causal agent is the bacterium *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*). This disease is scattered by all the producing regions and causes significant economic damage, not being known resistant varieties. Thus, in order to assist the screening works, this study aimed to evaluate the behavior of four sugarcane varieties inoculated with *Lxx*, correlating the yield data with the ecophysiological responses resulting from the disease effects. Plants with 180 days old were inoculated with Lxx and 270 days later were evaluated the ecophysiological and yield parameters. The experimental design used was the randomized block design with four replications, in a split-plot scheme, being the plots composed by varieties Co 997, RB867515, RB92579 and RB951541; and the subplots by inoculation or not of bacteria. The results indicated that RB92579 and RB951541 varieties were less sensitive to the RSD effects, since both ecophysiological and yield parameters were just a little bit affected by disease, while RB867515 and Co 997 varieties underwent changes in many parameters, highlighting the decline of photosynthetic rate and the reduction of height and diameter of the stalks, being, therefore, feasible the use of ecophysiological analysis tool as aid to the screening works of sugarcane genotypes regarding tolerance / susceptibility to the RSD effects.

**Key-words:** *Saccharum* ssp, Ratoon stunting disease (RSD), biotic stress, sugarcane ecophysiology.

## 5.1. Introdução

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.Híbridos). Apesar das dificuldades que o setor sucroenergético brasileiro vem passando, por conta, principalmente, de uma política nacional desfavorável ao setor – que culminou no aumento dos custos de produção e encerramento das atividades de várias usinas – a cultura da cana-de-açúcar continua sendo de extrema importância para a economia do país e encontra-se em contínua expansão, com aumento progressivo da capacidade produtiva e de área plantada ao longo dos últimos anos (NEVES; TROMBIN, 2014). Nesse contexto, para superar as dificuldades e manter a rentabilidade da atividade, a busca de estratégias e tecnologias voltadas para o incremento da produtividade de maneira sustentável se torna fundamental, sendo necessário o conhecimento apurado das influências que o meio ambiente exerce nas plantas cultivadas (BEHMANN et al., 2015).

As doenças fazem parte dos fatores ambientais de estresse biótico que afetam o rendimento no canavial. Dentre elas pode-se destacar a doença denominada Raquitismo da soqueira (RSD), causada pela bactéria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (*Lxx*), responsável por perdas severas na produção e nos atributos de qualidade da cana-de-açúcar em todo o mundo (TIWARI et al., 2012). No Brasil encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar do país (TOKESHI; RAGO, 2005). Os relatos referentes à sua incidência nas diversas variedades comerciais de cana-de-açúcar cultivadas em algumas dessas regiões, tais como São Paulo (URASHIMA et al., 2010; URASHIMA; MARCHETTI, 2013), Espírito Santo, oeste de Minas Gerais, sul da Bahia (PONTE et al., 2010), noroeste do Paraná (MARCUZ et al., 2009); refletem seu amplo espectro de ação. No entanto, não existem produtos registrados para o controle químico e as informações sobre resistência varietal ainda não são conclusivas, verificando-se que as diferentes variedades de cana-de-açúcar, ainda que cultivadas sob as mesmas condições edafoclimáticas, se comportam distintamente quanto ao grau de tolerância ao RSD (GAGLIARDI; CAMARGO, 2009)

A ausência de cultivares imunes, associada à dificuldade em avaliar a resistência/susceptibilidade dos genótipos devido, principalmente, às dificuldades de manipulação do agente causal (GAGLIARDI, 2008) e a variabilidade dos sintomas em função das condições ambientais (TOKESHI; RAGO, 2005) estimulam pesquisadores a buscarem diferentes métodos que permitam classificar os genótipos quanto a tolerância/susceptibilidade ao RSD, sendo a metodologia de comparar parcelas sadias e doentes em ensaios de campo a única capaz de avaliar os efeitos do RSD nas diferentes variedades de cana-de-açúcar (DAVIS et al., 1988).

Nesse sentido, levando-se em conta que a ação de patógenos geralmente prejudicam as propriedades fisiológicas e fotossintéticas das plantas (GONÇALVES et al., 2005; LEHRER; KOMOR, 2009; ZHAO et al., 2011; VISWANATHAN et al.; 2014), a análise de parâmetros ecofisiológicos, como as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a*, torna-se uma ferramenta promissora para uso em programas de triagem e seleção de plantas tolerantes a doenças, uma vez que possibilita a detecção de pequenos desvios da normalidade do desempenho fotossintético em plantas infectadas. (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Em relação ao RSD, o uso dessa ferramenta pode ser bastante útil, uma vez que a técnica possibilita fornecer informações acerca das condições da planta sujeita ao ataque de patógenos mesmo na fase assintomática da doença (GUO et al., 2005, LEHRER; KOMOR, 2009; VISWANATHAN et al., 2014), sendo possível correlacionar as alterações das condições de assimilação de $CO_2$, com as perdas de produtividade (CHA-UM; KIRDMANEE, 2009; GALON et al., 2013; GONÇALVES et al., 2010; GONÇALVES et al., 2005; LEHRER; KOMOR, 2009; VISWANATHAN et al., 2014; ZHAO et al., 2011).

Assim, no presente trabalho, foram avaliados os parâmetros de produção (biométricos e tecnológicos) e parâmetros ecofisiológicos de quatro variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB92579, RB951541 e Co 997) submetidas à inoculação artificial de *Lxx,* no intuito de buscar correlação entre os parâmetros e fornecer informações úteis acerca dos graus de sensibilidade das variedades citadas ante os efeitos do RSD nas condições edafoclimáticas do Estado de Sergipe.

## 5.2. Material e Métodos

### 5.2.1. Material Vegetal

O material propagativo consistiu em seções de colmos sem sintomas aparentes de doenças, com apenas uma gema, de quatro diferentes variedades de cana-de-açúcar: Co 997 e RB951541, provenientes do banco de germoplasma localizado na Estação de Floração e Cruzamento da Serra do Ouro (Murici – Alagoas); RB867515 e RB92579, provenientes do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe (São Cristóvão – Sergipe).

O plantio foi realizado em bandejas plásticas contendo substrato composto de mistura de solo, esterco bovino curtido e vermiculita (1:1:1). Em cada bandeja foram plantados 20 rebolos, espaçados uniformemente e a aproximadamente 2-3 cm de profundidade, sendo as bandejas mantidas em casa de vegetação, com temperatura ajustada para 28 ºC (URASHIMA; GRACHET, 2012), sob luz natural e rega duas vezes por semana.

Após a brotação, as plantas (mudas) foram mantidas na casa de vegetação por 30 dias e posteriormente transplantadas para o Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe – UFS, localizado no município de São Cristóvão, sendo utilizado o espaçamento de 0,50 m entre mudas e de 1,0 m entre linhas.

### 5.2.2. Isolamento e inoculação de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*

Fragmentos cilíndricos, retirados de amostras de cana-de-açúcar apresentando sintomas típicos de Raquitismo da soqueira, foram acondicionados em tubos tipo *falcon* de 15 ml e centrifugados para retirada do fluido vascular. Com o auxílio de uma seringa acoplada a um filtro de 0,2 µm, foram depositadas gotículas do fluido em placas de *petri* contendo o meio de cultura *MSCnew*, descrito por Davis et al. (1984): 17 g de ágar de milho - Difco, 4,0 g de ágar bacteriológico, 8,0 g de peptona de soja (Biobrás), 30 mL de solução 0,1% de hemina bovina - Sigma Tipo I em NaOH 0,05 N, $MgSO_4.7H_2O$ 0,01 M, 13 mL de $K_2HPO_4$ (0,1M), 87 mL de $KH_2PO_4$ (0,1 M) e 800 mL de água destilada deionizada. O pH foi ajustado para 7,5 com NaOH e a mistura foi autoclavada. Depois que o conteúdo autoclavado atingiu a temperatura próxima de 50 ºC, foram adicionados 100 mL de uma solução contendo 5,0 g de glucose, 0,5 g de cisteína – Sigma e 2,0 g de albumina bovina Sigma - fração V; esterilizada a frio em filtro de 0,2 µm. As colônias foram mantidas em placas de *petri* em meio sólido.

O inóculo foi preparado repicando e cultivando a bactéria isolada anteriormente em meio de cultura líquido S8 (similar ao anterior, apenas retirando o agar bacteriológico e o corn meal) descrito por Davis et al. (1984) a 28 ºC por 8 dias. As concentrações do inóculo foram ajustadas adicionando-se tampão fosfato 0,01M ao meio líquido contendo a bactéria, sendo a concentração final calibrada para $10^6$ células por mL com o auxílio de um espectrofotômetro. A inoculação foi realizada através do corte das plantas com idade de 180 dias utilizando-se instrumento cortante previamente imerso na suspensão de inóculo. Adicionalmente, foi adicionado aproximadamente 10 mL da mesma suspenção sobre a superfície exposta das plantas onde foi realizado o corte, visando garantir a inoculação.

### 5.2.3. Confirmação da identidade do isolado via PCR-específico

Os ensaios das reações de PCR-específico foram realizados conforme trabalhos descritos por Pan et. al (1998) e Gagliardi (2003): foram adicionados 2 µL da suspensão de células do isolado, utilizado no presente estudo, em microtubos contendo tampão de amplificação (1X), 200 µM de cada dNTP, 0,2 µM dos iniciadores LX23SF (5'-ACCTCCTTTCTAAGGAGC-3') e LX23SR (5'-TGAATTGATCGGCTCACC-3'), desenhados a partir da região 23S do RNA ribossômico, e 1 U de *Taq* DNA polimerase.

A reação foi realizada em termociclador PTC 100 (MJ Research, EUA) utilizando os seguintes ciclos: um ciclo inicial à 94 °C por 5 minutos, 40 ciclos de desnaturação à 95 °C por 30 segundos, hibridização à 57 °C por 1 minuto e extensão à 72 °C por 1,5 minuto, e um ciclo final de extensão à 72 °C por 3 minutos. O produto amplificado foi separado por eletroforese em gel de agarose 1,0% em tampão TBE 0,5X (tris-base 50 mM, ácido bórico 50 mM e EDTA 1 mM - pH 8,5) por 3 horas a 5 V/cm. O gel foi corado e fotografado em fotodocumentador ImageMaster® VDS (Pharmacia Biotech, San Francisco, CA, EUA) sob luz UV. Os pesos moleculares dos fragmentos gerados foram estimados com base em comparações com marcador molecular 100 pb DNA Ladder (Promega Corporation, Madison, WI, EUA).

### 5.2.4. Trocas gasosas

As medições de trocas gasosas foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Zhao et al. (2011) adaptada. Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática ($G_S$), transpiração (E), concentração interna de carbono (Ci), déficit de pressão de vapor de água entre a folha e o ar ($DPV_{folha\text{-}ar}$) e eficiência do uso da água (EUA) foram mensurados utilizando um sistema analisador de gás a infravermelho IRGA (LI-COR Nebrasca, USA) modelo LI-6400XT. A radiação fotossinteticamente ativa fornecida por uma fonte de luz artificial acoplada foi ajustada para 1500 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, a concentração de $CO_2$ para 380 μl.$litro^{-1}$ e a umidade relativa para 45%, com temperatura ambiente. As medições ocorreram duzentos e setenta dias após a inoculação, entre 7:00 e 10:00 horas, na porção mediana de folhas +1, completamente expendida (Figura 5.1).

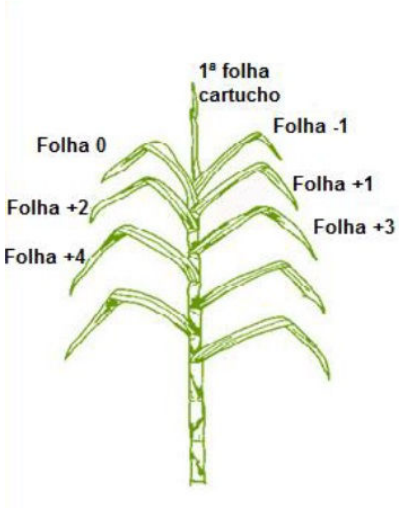


**Figura 5.1**. Sistema Kuijper de numeração de folhas de cana-de-açúcar

### 5.2.5. Pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* e *b*

Para a determinação de clorofilas *a*, *b*, total e relação *a/b* foram medidos os teores relativos de clorofila na folha através de um sistema medidor de clorofila Clorofilog (Falker), de maneira não destrutiva. As medições foram realizadas nas mesmas datas das demais análises, na porção mediana da folha +1.

### 5.2.6. Fluorescência da clorofila *a*

As medições de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Gonçalves et al. (2010) modificado. Foram analisados os seguintes parâmetros: fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), eficiência máxima do PSII (Fv / Fm). As análises foram realizadas na mesma ocasião das análises anteriores, entre às 7:00 e 10:00, em folhas +1 completamente expandidas, sob temperatura e concentração de $CO_2$ ambiente. Utilizou-se um fluorímetro modulado modelo OS-30p (Optisci) para realizar as leituras, sendo a região da folha amostrada previamente submetida a 30 minutos de adaptação ao escuro para a leitura da fluorescência inicial (F0). Logo em seguida,na mesma região, foi medida a fluorescência máxima (Fm).

O valor da fluorescência variável foi obtido pela diferença Fm – F0; e a eficiência máxima do PSII pela equação: $Fv/fm = \frac{Fm-F0}{Fm}$.

### 5.2.7. Componentes de produção: biométricos e tecnológicos

Para as análises dos componentes de produção, foi seguido o método proposto por Martins e Landell (1995). Cinco colmos industrializáveis foram retirados de cada parcela experimental para as leituras, sendo cortados rente ao solo e o ápice removido no "ponto de quebra" do palmito.

Em relação aos parâmetros biométricos, foram mensurados: número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI $m^{-1}$), diâmetro médio dos colmos (DMC), estatura média dos colmos (EMC) e estimativa de produtividade, expressa em tonelada de cana/colmo por hectare (TCH). A mensuração do diâmetro foi realizada no terço médio do colmo, utilizando-se um paquímetro. Para a determinação da estatura média dos colmos utilizou-se uma trena, sendo considerada apenas a porção industrializável.

De posse dos dados acima descritos e, considerando a densidade do colmo igual a 1 (hum), aplicou-se a fórmula descrita por Martins e Landell (1995):

$TCH=D^2 \times C \times H \times (0,007854/E)$ onde;

D= diâmetro de colmos (cm);

C= número de colmos por metro linear;

H= comprimento médio de colmos (cm);

E= espaçamento entre sulcos (m).

Em relação aos parâmetros tecnológicos, foram mensurados: concentração de sólidos solúveis, peso médio dos colmos (PMC) e peso de parcela (PP). Para a determinação do teor de sólidos solúveis foi utilizado um refratômetro, sendo a medida expressa em °Brix. O peso médio de colmos foi obtido a partir da média de cinco colmos por parcela.

### 5.2.8. Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi disposto de acordo com o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelas quatro variedades de cana-de-açúcar (Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541) e as subparcelas pela inoculação (IN) ou não (N.I) da bactéria *Lxx*. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para verificar a necessidade de transformação dos dados, e posteriormente à análise de variância (ANAVA). Para os testes significativos foi realizada a comparação das médias utilizando o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

## 5.3. Resultados

### 5.3.1. Confirmação da identidade do isolado via PCR-específico

Através dos ensaios de PCR específico foi possível confirmar a identidade do isolado, utilizado como inóculo no presente estudo, como sendo a bactéria *L. xyli* subsp. *xyli*, agente causal da doença raquitismo da soqueira (RSD). A confirmação se dá quando os fragmentos gerados a partir da amplificação por PCR geram uma banda que indica peso molecular de 438pb (URASHIMA; GRACHET, 2012), ou seja, aproximadamente 500pb (Figura 5.2).

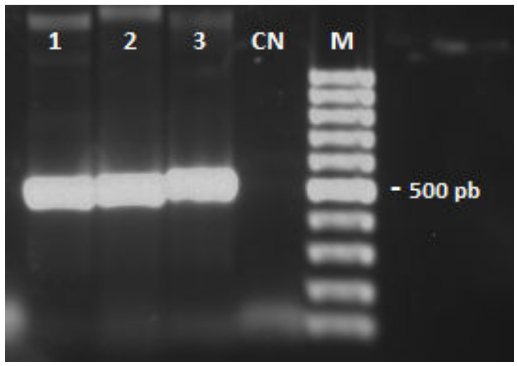


**Figura 5.2.** PCR-específico - Eletroforese em gel de agarose 1% dos produtos amplificados por PCR específico da região 23S do rRNA. M - marcador molecular de 100 pb (Promega); CN - controle negativo sem DNA; 1, 2, 3 - PCR a partir de células do isolado, em três repetições.

### 5.3.2 Trocas gasosas

As variedades Co 997 e RB867515 inoculadas (IN) sofreram declínio de 25% e 16%, respectivamente, da taxa fotossintética líquida (A), quando comparadas às suas respectivas correspondentes não inoculadas. Essas mesmas variedades, quando não inoculadas (N.I), apresentaram taxas superiores às demais que, no entanto, não foram afetadas pela bactéria (Figura 5.3a).

Em relação à condutância estomática (Gs), embora Co 997 tenha apresentado, quando não inoculada, um valor bastante elevado quando comparado às demais (que não diferiram entre sí), sofreu acentuada redução (57,7%) quando inoculada (Figura 5.3b).

As variedades RB92579 e RB951541 não foram influenciadas pela inoculação no que diz respeito à concentração interna de $CO_2$ (Ci). A variedade Co 997 não inoculada foi significativamente superior às demais (também não inoculadas). No entanto, com a inoculação, sofreu redução de 38%. Em contrapartida, a variedade RB867515, que apresentou os menores valores, tanto inoculada como não inoculada, apresentou um ganho de 42% (Figura 5.3c).

A transpiração (E) das variedades RB92579 e RB951541 não foi afetada com a inoculação. No entanto Co 997 e RB867515 sofreram reduções de 18,3% e 17%, respectivamente (Figura 5.3d)

Foi observado aumento do parâmetro défict de pressão de vapor de água entre a folha e o ar ($DPV_{folha\text{-}ar}$) nos tratamentos inoculados das variedades Co 997 (90%) e RB951541 (19,7%). Contrariamente, RB867515 sofreu redução de 8,4% (Figura 5.3e).

A variedade RB951541 foi a única variedade a sofrer prejuizo significativo quanto à eficiência do uso da água (EUA) quando inoculada, apresentando uma redução de 19,7% (Figura 5.3f).

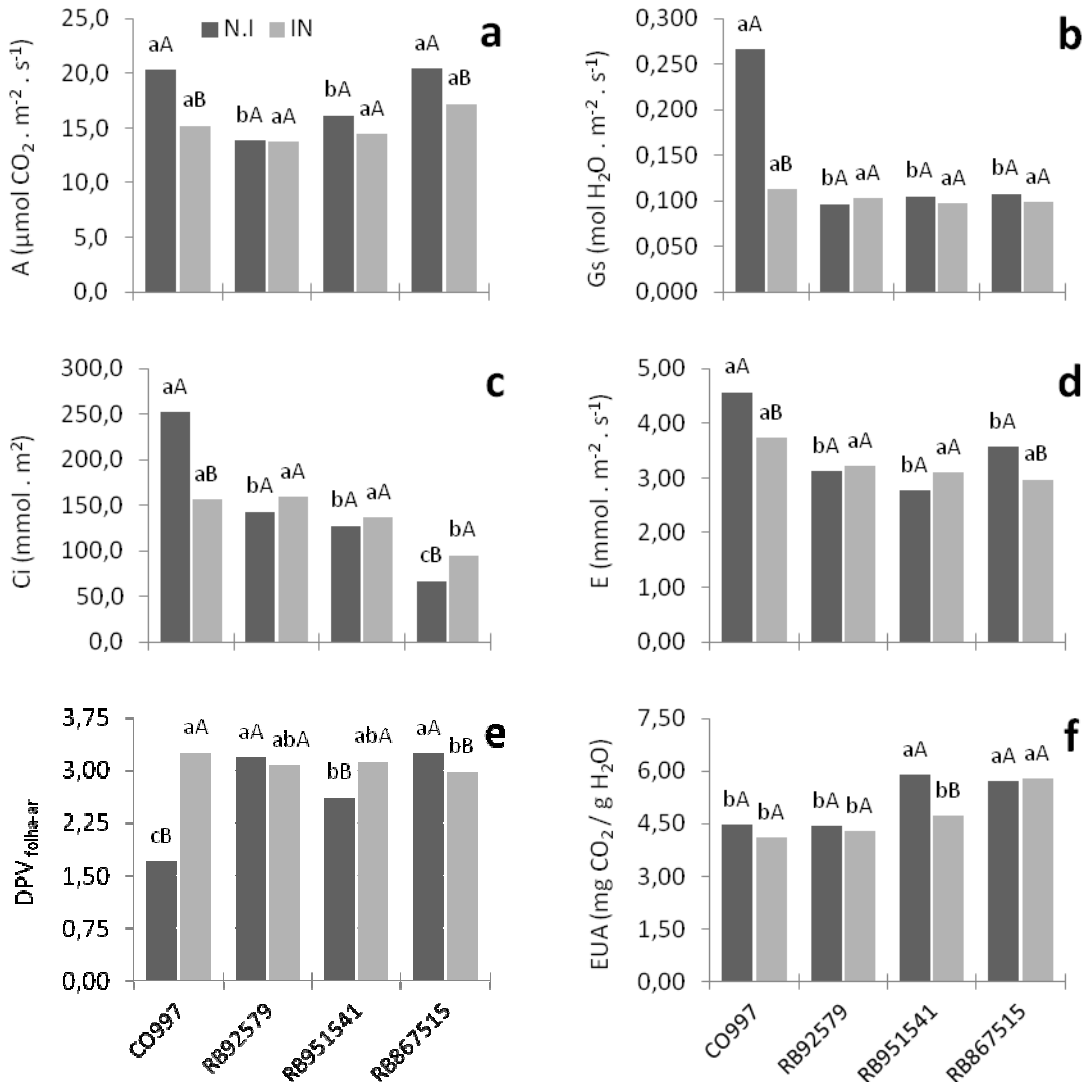


**Figura 5.3.** Parâmetros de trocas gasosas: A - Taxa fotossintética (a); Gs - Condutância estomática (b); Ci - Concentração interna de $CO_2$ (c); E - Transpiração (d); $DPV_{folha-ar}$ Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (e); e EUA - Eficiência do uso da água (f).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de inoculação", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

### 5.3.3. Pigmentos fotossintéticos: clorofilas *a* e *b*

Em relação aos parâmetros de "clorofila *a*" (Chla), "clorofila *b*" (Chlb), e "clorofila total" (*a*+*b*) houve interação significativa entre os fatores "variedades" e "níveis de inoculação". Apenas as plantas inoculadas da variedade RB92579 apresentaram redução nos teores dos parâmetros citados, enquanto as demais mantiveram seus níveis estáveis (Figura 4a). Em relação à "relação *a/b*", apenas a variedade RB951541 apresentou alteração, aumentando seu valor quando inoculada (Figura 5.4b).

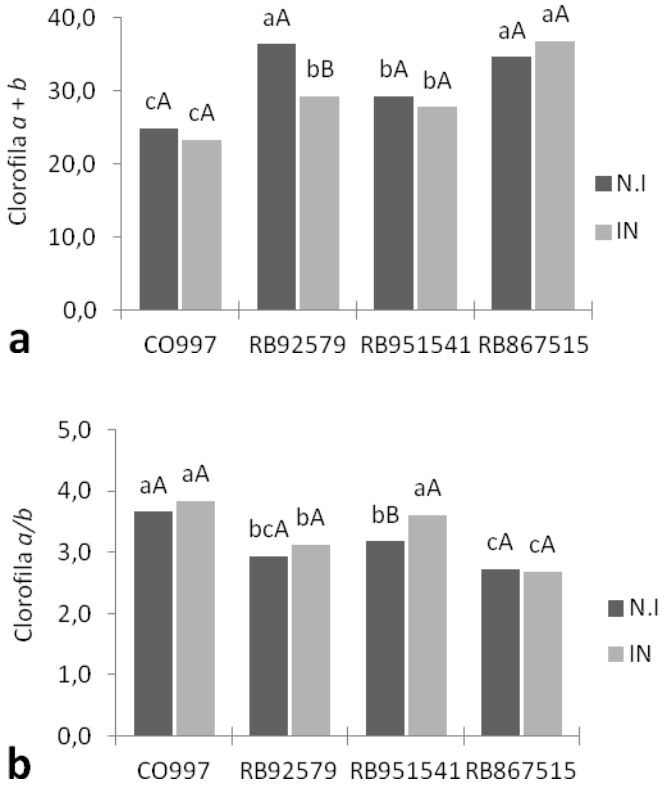


**Figura 5.4.** Parâmetros de clorofila: Clorofila total a + b (a); Relação a/b (b).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de inoculação", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

### 5.3.4. Fluorescência da clorofila *a*

Nos parâmetros "F0" e "Fm", não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos inoculados e não inoculados, assim como não houve interação entre os fatores "variedades" e "níveis de inoculação". Entre as variedades, as que apresentaram os maiores valores, tanto para "F0" como para "Fm", foram, em média, RB867515 e RB92579. As outras duas não diferiram entre si (Figura 5.5 a,b).

Já o parâmetro Fv/Fm, embora não tenha apresentado diferença entre as variedades, nem interação significativa entre os fatores "variedades" e "níveis de inoculação", apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos inoculados e não inoculados, com uma ligeira redução da média das variedades de 0,788 (não inoculadas) para 0,780 (inoculadas), ou seja, um decréscimo de 0,008 (1%) (Figura 5.5 c).

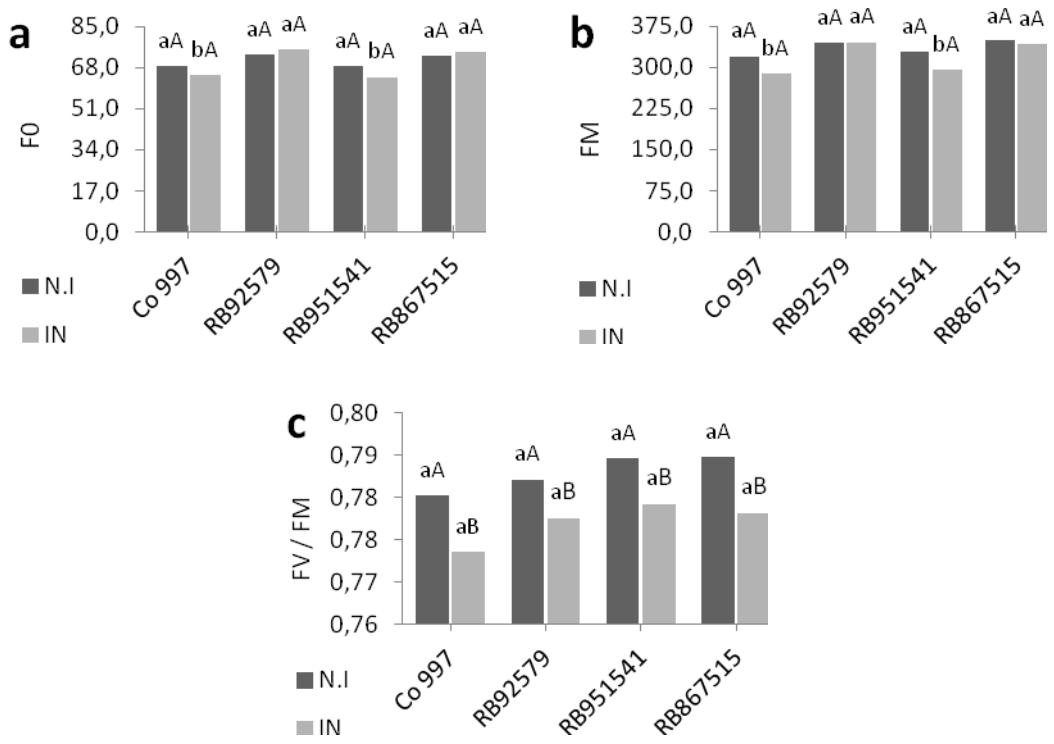


**Figura 5.5**. Parâmetros de fluorescência da clorofila *a*: Fluorescência inicial (a); Fluorescência máxima (Fm) e Eficiência máxima do PSII – Fv/Fm (c).
Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

### 5.3.5. Componentes de produção

Em relação aos parâmetros biométricos, a variedade Co 997 apresentou reduções de 4,5% da estatura média dos colmos (EMC) e 3% do diâmetro médio dos colmos (DMC). A variedade RB867515 apresentou pequena redução de 2,8% do DMC. A variedade RB92579, apresentou redução de 24% do número de perfilhos por metro linear (NPI) quando inoculada, sendo essa redução, no entanto, acompanhada de aumento tanto do DMC (5%) quanto do EMC (11,5%), equilibrando, de certa forma, a relação. Apesar das diferenças citadas, não foram observadas diferenças estatisticas entre os tratamentos inoculados e não inoculados das quatro variedades testadas (sem excessão) em relação à estimativa de produtividade (TCH), bem como não houve interação entre os fatores "variedades" e "níveis de inoculação".

Em contrapartida, na comparação entre as variedades, as diferenças foram mais evidentes. Em relação ao parâmetro TCH – calculado a partir do EMC, DMC e NPI – a variedade RB867515 apresentou a melhor performance, seguida pelas variedades RB951541 e RB92579 (não diferiram entre si) e, por último, pela variedade Co 997. Esta última apresentando um desempenho 61% inferior à primeira (Figura 5.6 a,b,c,d).

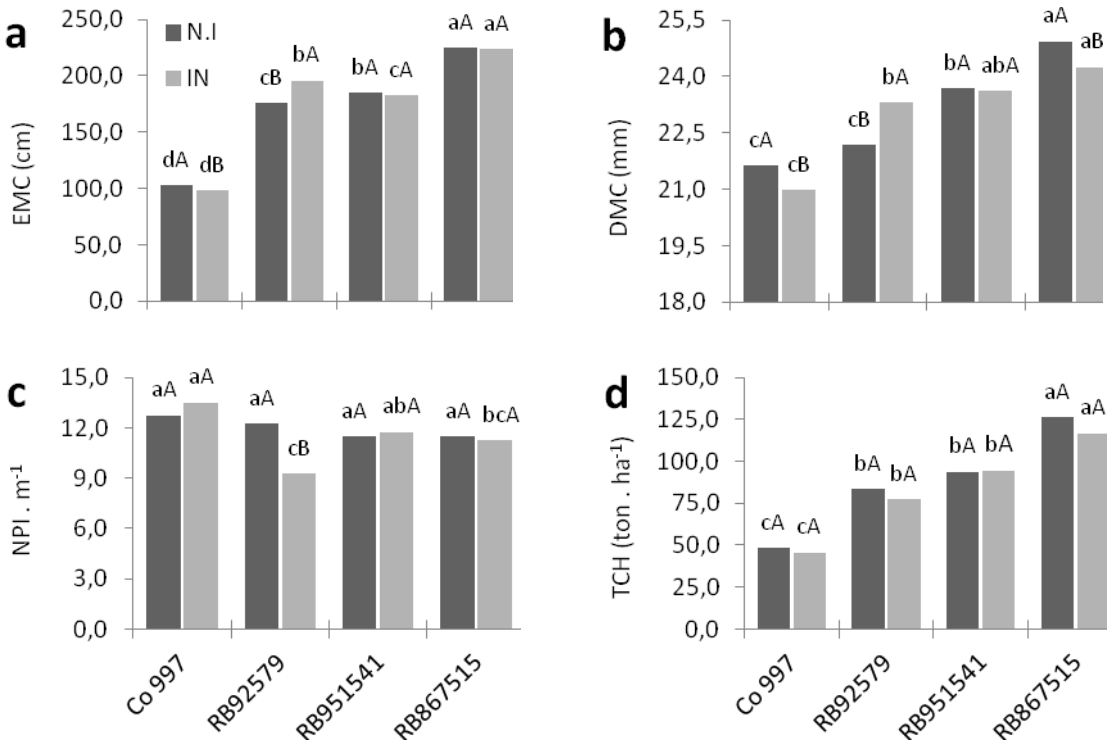


**Figura 5.6.** Parâmetros Biométricos: EMC = Estatura média de colmo (a), DMC= Diâmetro médio de colmo (b), NPI = Número de perfilhos industrializáveis por metro linear (c) e TCH = Toneladas de cana por hectare (d).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de inoculação", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

As análises tecnológicas incluiram as variáveis peso médio dos colmos (PMC), peso da parcela (PP) e concentração de sólidos solúveis (°Brix). Não foram constatadas diferenças entre os tratamentos inoculados e não inoculados para esses parâmetros, exceto para a concentração de sólidos solúveis, com a variedade Co 997 sofrendo declínio significativo de 18% passando de 18,3 para 15,7 °Brix (Figura 5.7.a,b,c).

Na comparação entre as variedades, em relação ao parâmetro PMC, a variedade RB867515 foi superior às demais, com uma média de 1,12 Kg, seguida pelas variedades RB92579 (0,89 kg) e RB951541 (0,86 kg) – não diferiram entre si – e, por último, a variedade Co 997, com uma média de 0,4 Kg. Quanto ao (PP), a variedade RB867515 não diferiu da RB951541, mas foi superior às demais, sendo a variedade Co 997 a que apresentou o pior desempenho. Por último, em relação à variavel sólidos solúveis, as variedades RB867515 e RB92579 foram superiores às demais, tanto quando inoculadas, como quando não inoculadas.

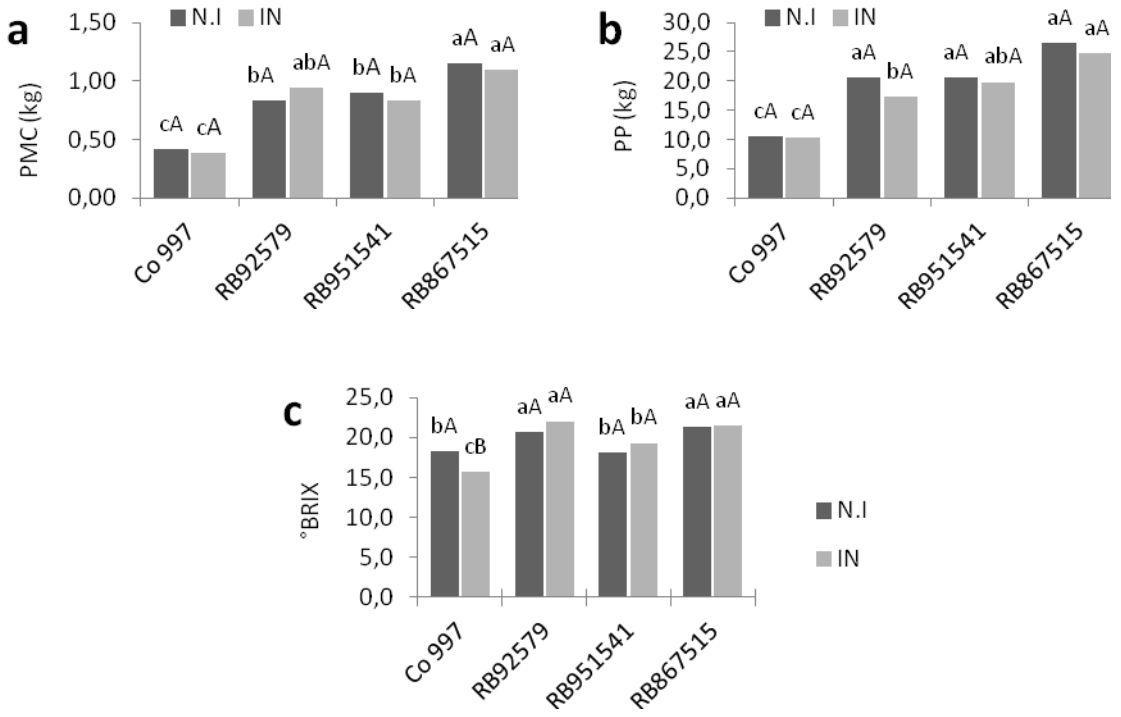


**Figura 5.7.** Parâmetros Tecnológicos: PMC = Peso médio de colmo (a), PP = Peso da parcela (b) e Brix = sólidos solúveis (c).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de inoculação", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

## 5.4. Discussão

Quatro diferentes variedades de cana-de-açúcar (Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541) foram inoculadas artificialmente com a bactéria *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. (*Lxx*), sendo as parcelas inoculadas (IN) comparadas às suas correspondentes não inoculadas (N.I) com base em parâmetros ecofisiológicos e componentes de produção (biométricos e tecnológicos). As variedades Co 997 e RB867515 foram as que apresentaram maior sensibilidade à inoculação quanto aos parâmetros das trocas gasosas. Ambas apresentaram redução da taxa fotossintética (A), sendo que na variedade Co 997, essa redução ocorreu provavelmente em resposta ao acentuado declínio da condutância estomática (Gs), uma vez que o aparato estomático, responsável pela entrada de gases na planta, afeta o processo de ganho fotossintético ao controlar o influxo de $CO_2$ na planta (LARCHER,2006). Lehrer e Komor (2009) e Viswanathan et al. (2014), analisando os efeitos do "Amarelecimento foliar da cana-de-açúcar" – doença provocada pelo vírus ScYLV (*Sugarcane yellow leaf vírus*) – também constataram redução significativa da taxa fotossintética em função do declínio da condutância estomática ainda na fase assintomática da doença.

No entanto, a variedade RB867515, não apresentou redução estatística significativa da condutância estomática, indicando que a redução da taxa fotossintética ocorreu provavelmente em função de limitação fotoquímica e/ou bioquímica (não-estomática), uma vez que não foi constatada redução nos teores de clorofila e, segundo Guo et al. (2005) e Zhao et al. (2011), a limitação não estomática pode ocorrer como consequência da degradação da clorofila (e consequente degeneração do cloroplasto) ou por alguma outra limitação de origem fotoquimica e/ou bioquímica, como o comprometimento da atividade da Rubisco (RuBP-carboxilase-oxigenase) (pela ação de patógenos), por conta do processo fotossintético que catalisa a carboxilação da RuBP (Ribulose-1,5-bifosfato), que é o aceptor responsável pela fixação do $CO_2$ assim que este chega ao interior do cloroplasto (GUO et al., 2005; IZAGUIRRE-MAYORAL et al., 2002; LARCHER, 2006).

A redução da concentração interna de carbono (Ci) observada na variedade Co 997 provavelmente ocorreu como consequência da alteração do balanço entre o $CO_2$ consumido pela fotossíntese e a reposição do mesmo via influxo do meio externo através dos estômatos (LACHER, 2006; LEHRER; KOMOR, 2009), uma vez que, embora ambos os parâmetros tenham sofrido declínio, a condutância estomática o fez em maior proporção, sendo a reposição do $CO_2$ mais afetada do que seu consumo pela fotossíntese. Em relação à variedade RB867515, no entanto, esse balanço foi positivo, aumentando a Ci, provavelmente em virtude da manutenção do influxo de $CO_2$ (estabilização do Gs) acompanhada da redução do seu consumo fotossintético (declínio de A). Em contrapartida, Guo et al. (2005) em seu estudo constatou que o Ci de plantas de mostarda infectadas se mantiveram relativamente estáveis, uma vez que as reduções dos parâmetros A e Gs ocorreram de forma proporcional, não afeando o balanço de $CO_2$.

A redução do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha\text{-}ar}$) verificado na variedade RB867515, provavelmente provocou a redução natural da intensidade transpiratória, uma vez que, segundo Lacher (2006), quando não se verifica alteração da condutância estomática (como foi o caso), a transpiração ocorre unicamente em função da variação da capacidade evaporativa do ar por um processo de difusão (regulação física). Por outro lado, em relação à variedade Co 997, o aumento acentuado do $DPV_{folha\text{-}ar}$ provavelmente induziu o fechamento estomático como resposta de defesa da planta a uma condição ambiental adversa, acarretando em redução da transpiração em função da menor abertura estomática (regulação fisiológica) (YOUNG et al., 1997). A redução da transpiração em função da ação de patógenos também foi constatado em cultivares de cana-de-açúcar inoculadas pelo vírus ScYLV (VISWANATHAN et al., 2014) e pelo fungo *Puccinia kuehnii* (ZHAO et al., 2011).

Levando-se em conta que os fatores ambientais, a exemplo do estresse, afetam os processos envolvidos na produção de matéria seca na medida em que afetam as trocas gasosas e, consequentemente, a produção de fotossintados (LARCHER, 2006), pôde-se verificar que, como reflexo das alterações nas trocas gasosas, provocadas pela ação do patógeno, a variedade Co 997 apresentou comprometimento significativo das variáveis teor de sólidos solúveis (°Brix), estatura média dos colmos (EMC) e diâmetro médio dos colmos (DMC), uma vez que estes componentes são influenciados pelos parâmetros fotossintéticos e os mesmos foram afetados pela ação do patógeno. A redução dos parâmetros EMC e DMC em cana-de-açúcar associadas ao comprometimento dos parâmetros fotossintéticos também foram constatadas por Viswanathan et al. (2014). Assim, o menor comprometimento dos componentes de produção da variedade RB867515, em relação à variedade Co 997, provavelmente está relacionado ao menor comprometimento dos parâmetros fotossintéticos, indicando que, embora tenha apresentado certa sensibilidade aos efeitos da inoculação, a variedade RB967515 foi menos sensível ao raquitismo da soqueira (RSD) do que variedade Co 997, inserida no presente estudo como padrão susceptível.

As variedades RB92579 e RB951541 foram as que menos se mostraram sensíveis à inoculação de *Lxx*. Em relação aos parâmetros das trocas gasosas, RB92579 não apresentou diferenças significativas em todos os parâmetros avaliados, enquanto RB951541 apresentou alterações apenas nos parâmetros $DPV_{folha\text{-}ar}$ (incremento) e EUA (declínio). A eficiência do uso da água (EUA), definida como a razão entre a taxa de assimilação de $CO_2$ e a taxa de transpiração, constitui um indicativo do comportamento das trocas gasosas na folha, sendo alterada sempre que mudam as condições de difusão do $CO_2$ ou da água (LARCHER, 2006). Portanto, a alteração observada na EUA da variedade RB951541 pode estar relacionada à alteração no $DPV_{folha\text{-}ar}$, ocorrida, por sua vez, provavelmente como consequência de alguma variação climática não controlada durante as análises.

A variedade RB92579 foi a única a apresentar declínio dos teores de clorofila. Embora diversas doenças possam afetar negativamente a taxa fotossintética na medida em que provocam a degradação da clorofila (processo não-estomático) (GUO et al. 2005; LEHRER; KOMOR, 2009; ZHAO et al., 2011; VISWANATHAN et al.; 2014) comprometendo a absorção da radiação (BACCI et al., 1998), não foi verificada, no presente estudo, redução da taxa fotossintética da parcela inoculada da referida variedade, provavelmente devido a algum processo compensatório.

A inoculação da bactéria não afetou os parâmetros de produção, tanto tecnológicos, como biométricos da variedade RB951541. Em relação à variedade RB92579, os parâmetros tecnológicos também não foram alterados. No entanto, quanto aos parâmetros biométricos, foi

constatada a redução do número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI). Embora o número de colmos seja um dos parâmetros que apresente maior correlação com a produção (MARAFON, 2012) a redução do NPI da parcela inoculada parece ter sido compensada pelo aumento significativo tanto do DMC como da EMC em relação à sua correspondente não inoculada, fazendo com que a relação entre os parâmetros se equilibrasse e o parâmetro TCH permanecesse constante.

Em relação à fluorescência da clorofila *a,* foram mensurados os valores da fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm) e fluorescência variável (Fv), no intuito de se obter a relação Fv/Fm. Como visto nos resultados, não houve diferença estatística no parâmetro Fv/Fm na comparação entre as quatro variedades testadas, assim como não houve interação significativa entre os fatores "Variedades" e "Níveis de Inoculação", o que significa que os efeitos da inoculação sobre Fv/Fm das parcelas independe da variedade analisada, sofrendo, em média, declínio de 0,008 (1%). O declínio desse parâmetro em estudos comparativos de parcelas infectadas com parcelas sadias foi constatada por diversos pesquisadores (ALVES et al., 2011; GONÇALVES et al., 2005; GUO et al., 2005; VISWANATHAN et al., 2014) e em cana-de-açúcar, Gonçalves et al. (2005) verificaram redução desse parâmetro em resposta à ação do vírus ScYLV infectando a variedade SP71-6163. Posteriormente, avaliando a influência do mesmo vírus em diferentes variedades de cana-de-açúcar, Viswanathan et al. (2014) também verificaram redução desse parâmetro tanto em plantas sintomáticas, que exibiram declínio de 0,165, como em plantas que, embora infectadas, ainda não apresentavam sintomas, sendo registrada redução média de 0,025, mostrando, assim, ser possível detectar variações desse parâmetro antes mesmo da planta apresentar sintomas externos, o que atesta a significativa sensibilidade do método.

No entanto, embora esse parâmetro seja uma medida que reflita a eficiência quântica do fotossistema II (PSII) e, portanto, seu declinio seja considerado um bom indicador de dano fotoinibitório como consequência de uma condição de estresse ambiental (BAKER; ROSENQVIST, 2004; CAMPOSTRINI, 2010; MURCHIE; LAWSON, 2013) não se pode, no presente trabalho, inferir que houve dano fotoinibitório uma vez que o valor médio de Fv/Fm em plantas inoculadas foi de 0,780 e, para que seja configurada uma situação de dano fotossistema, esse valor tem que estar abaixo de 0,750 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989). Além disso, o padrão de um processo fotoinibitório é caracterizado pela redução da razão Fv/Fm como consequência do aumento de F0 e redução de Fm (KRAUSE, 1988). No entanto, não foram constatadas diferenças significativas dos valores de F0 e Fm (cuja diferença corresponde ao "Fv" da razão Fv/Fm), o que indica que, embora tenha ocorrido

redução estatística, o declínio de 0,008 do parâmetro Fv/Fm não comprometeu o funcionamento do PSII.

Diante do exposto, percebe-se que as variedades testadas apresentaram comportamentos distintos perante a ação da bactéria *Lxx* e que a intensidade das alterações dos parâmetros fotossintéticos em cada uma teve reflexos relativamente proporcionais nos componentes de produção. Assim, a variedade Co 997, reconhecidamente susceptível ao RSD (RAO, 1984), apresentou alterações mais intensas nos parâmetros ecofisiológicos, refletindo em maior comprometimento dos componentes de produção, inclusive dos sólidos solúveis (°Brix), que é um importante atributo de qualidade em cana-de-açúcar. Da mesma forma, a variedade RB867515, dentre as três variedades RB (RIDESA) testadas, foi a mais sensível aos efeitos da inoculação. Sua relevante susceptibilidade em relação ao RSD, segundo Urashima e Marchetti (2013), está no fato dela "permitir" que a densidade populacional da bactéria *Lxx* seja alta (severidade), uma vez que existem evidencias de que a densidade populacional do patógeno nos extratos do xilema está diretamente relacionada com a resistência da variedade ao RSD (HARRISON; DAVIS, 1988). Além disso, a queda de rendimento da referida variedade quando infectada por *Lxx* também foi demonstrada em ensaio de campo por Gagliardi e Camargo (2009). A variedade RB92579 não sofreu alterações quanto aos parâmetros ecofisiológicos decorrentes da inoculação de *Lxx*. Apesar de ter sido classificada por Urashima e Marchetti (2013) como susceptível, de acordo com critérios baseados na incidência e densidade populacional da bactéria nos extratos xilemáticos, o fato de ser uma variedade desenvolvida para adaptar-se às condições climáticas adversas da região nordeste (RIDESA, 2010), onde o experimento foi conduzido, pode estar relacionada à sua maior capacidade de adaptar-se à uma possível situação de estresse promovida pela bactéria, mantendo maior estabilidade dos parâmetros ecofisiológicos. Provavelmente por esse mesmo motivo, a variedade RB951541 também obteve boa estabilidade dos parâmetros ecofisiológicos, não sendo constatado comprometimento dos componentes de produção, tanto biométricos como tecnológicos.

## 5.5. Conclusões

As variedades RB92579 e RB951541 apresentam pouca sensibilidade ao patógeno, não sofrendo interferência relevante nos parâmetros ecofisiologicos e de produção.

As variedades RB867515 e Co 997 apresentam maior sensibilidade ao patógeno, sofrendo alterações nos parâmetros ecofisiológicos e de produção, contudo, de forma mais acentuada na variedade Co 997.

O uso de ferramentas ecofisiológicas é viável, podendo ser mais uma ferramenta útil no auxílio aos trabalhos de seleção de genótipos de cana-de-açúcar no que diz respeito à tolerância/susceptibilidade ao raquitismo da soqueira (RSD).

## 5.6. Referências Bibliográficas

ALVES, A. A.; GUIMARÃES, L. M. da S.; CHAVES, A. R. de M.; DAMATTA, F. M.; ALFENAS, A. C. Leaf gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of *Eucalyptus urophylla* in response to *Puccinia psidii* infection. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1831-1839, 2011.

BACCI, L.; VINCENZI, M. de; RAPI, B.; ARCA, B.; BENINCASA, F. Two methods for the analysis of colorimetric components applied to plant stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture,** v. 19, p. 167186, 1998.

BAKER N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany,**.v. 55, p. 1607-21, 2004.

BEHMANN, J.; MAHLEIN, A. –K.; RUMPF, T.; RÖMER, C.; PLÜMER, L. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 239-260, 2015.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila A:** considerações teóricas e aplicações práticas. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China,** v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.

DAVIS, M. J.; GILLASPIE JR, A. G.; VIDAVER, A. K.; HARRIS, R. W. *Clavibacter*: a new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* sp. nov., subsp. nov. and *Clavibacter xyli* subsp. *Cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 34(2), p. 107-117, 1984.

DAVIS, M. J.; DEAN, J. L.; HARRISON, N. A. Quantitative variability of *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* populations in sugarcane cultivars differing in resistance to ratoon stunting disease. **Phytopathology**. v. 78, p. 462-468, 1988.

GAGLIARDI, P. R.; CAMARGO, L. E. A. Resistência de variedades comerciais de cana-de-açúcar ao agente causal do raquitismo da soqueira. **Ciencia Rural (UFSM)**, v. 39, n.4, p. 1211-1214, 2009.

GAGLIARDI, P. R. **Avaliação da resistência à *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, agente causal do raquitismo da soqueira (RSD), em variedades comerciais de cana-de-açúcar.** 2008. 119 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

GALON, L.; CONCENCO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. F. da; GIACOBBO, C. L.; ANDRES, A. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. In: DUBINSKY, Z. (Ed.). **Photosynthesis**. Rijeka: In Tech, 2013. cap. 7, p. 185-208. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/55255> Acesso em: 20 jun. 2015.

GONÇALVES, M. C.; VEGA, J.; OLIVEIRA, J. G.; GOMES, M. M. A. Sugarcane yellow leaf virus infection leads to alterations in photosynthetic efficiency and carbohydrate accumulation in sugarcane leaves. **Fitopatologia Brasileira.** v. 30, n. 1, p.10-6, 2005.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GUO, D. -P.; GUO, Y. -P; ZHAO, J. -P.; LIU, H.; PENG, Y.; WANG, Q. -M.; CHEN, J. -S.; RAO, G. Z. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. *tsatsai*) after turnip mosaic virus infection. **Plant Science**, v. 168, p. 57-63, 2005.

HARRISON, N. A., DAVIS, M. J. Colonization of vascular tissues by *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* in stalks of sugarcane cultivars differing in susceptibility to ratoon stunting disease. **Phytopathology**, v. 78, p. 722–727, 1988.

IZAGUIRRE-MAYORAL, M. L.; CARBALLO, O.; ALCESTE, C.; ROMANO, M.; NASS, H. A. Physiological performance of asymptomatic and yellow leaf syndrome-affected sugarcanes in Venezuela. **Journal of Phytopathology**, v. 150, p.13-19, 2002.

KRAUSE, G.H. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. **Physiologia Plantarum**, v. 74, p. 566-574, 1988.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: RiMa, 2006. 531 p.

LEHRER, A. T.; KOMOR, E. Carbon dioxide assimilation by virus-free sugarcane plants and by plants which were infected by Sugarcane Yellow Leaf Virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. v.73, p. 147-153, 2009.

MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar:** uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168). Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf>. Acesso em: 07 jul 2015.

MARCUZ, F. S.; SOUTO, E. R.; MARRAFON, M. A.; BARBOZA, A. A. L.; VIEIRA, R. A.; DAROS, E. Levantamento da incidência de leifsonia xyli subsp. xyli em plantios de cana-de-açúcar do noroeste do paraná**. Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, 1935-1939, 2009.

MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. de A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agronômico, 1995. 45 p.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. (Org.). **A dimensão do setor Sucroenergético**: mapeamento e quantificação da safra 2013/14. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

PAN, Y. B.; GRISHAM, M. P.; BURNER, D. M. A polymerase chain reaction protocol for the detection of *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, the causal bacterium of ratoon stunting disease. **Plant Disease,** v. 3, n. 82, p. 285-290, 1998.

PONTE, E. C. de; SILVEIRA, S. F. da; CARNEIRO JR, J. de B.; LIMA, R. M. P de. Incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em áreas de multiplicação de cana-de-açúcar no Espírito Santo, sul da Bahia e oeste de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica.** v. 36, p. 310-321, 2010.

RAO, M. M. Investigation of ratoon stunting disease of sugarcane. **Annual Report SBI**, v. 92, 1984.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar.** Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010. 136 p.

TIWARI, A. K.; VISHWAKARMA, S. K.; KUMAR, P.; PANDEY, N.; LAL. M. Ratoon stunting disease (*Leifsonia xyli*) of sugarcane. **Plant Knowledge Journal**, v. 1, n. 1, p. 20-24, 2012.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Eds.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo, Agronômica Ceres, p.185-196, 2005.

URASHIMA, A. S.; GANEM JÚNIOR, E. DE J.; MARCHETTI, L. B. L.; GAGLIARDI, P. R. Incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em variedades de cana-de-açúcar a serem empregados para multiplicação no estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v. 36 (4), p. 322-328, 2010.

URASHIMA, A. S.; GRACHET, N. G. Métodos de detecção de *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 37(1), p. 57-64, 2012.

URASHIMA, A. S.; MARCHETTI, L. B. L. Incidence and Severity of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* Infection of Sugarcane in Sao Paulo State, Brazil**. Journal of Phytopathology**, v.161(7-8), p.478-484, 2013.

VISWANATHAN, R.; CHINNARAJA, C.; MALATHI, P.; GOMATHI, R.; RAKKIYAPPAN, P.; NEELAMATHI, D.; RAVICHANDRAN, V. Impact of *Sugarcane yellow leaf virus* (ScYLV) infection on physiological efficiency and growth parameters of sugarcane under tropical climatic conditions in India. **Acta Physiologiae Plantarum.** v. 36, p. 1805-1822, 2014.

YONG, J. W. H.; WONG, S. C.; FARQUHAR, G. D. Stomatal responses to changes in vapour pressure difference between the leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p.1213-1216, 1997.

ZHAO, D., GLYNN, N. C., GLAZ, B., COMSTOCK, J. C., SOOD, S. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane. **Plant Disease**, v. 95 (6), p. 640-647. 2011.

## 6. ARTIGO 2: TROCAS GASOSAS E HABILIDADE COMPETITIVA DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS À MATOCOMPETIÇÃO COM *Brachiaria decumbens* Stapf.


## RESUMO

A matocompetição é um dos fatores que causam perda de rendimento nos canaviais, podendo-se destacar a gramínea *Brachiaria decumbens* Stapf, popularmente denominada capim-braquiária. De difícil controle, é uma invasora com alta capacidade de sobrevivência. As variedades de cana-de-açúcar possuem diferentes graus de habilidade competitiva ante uma condição de matocompetição. Assim, no presente trabalho, foram avaliados os componentes de produção e as trocas gasosas de quatro variedades de cana-de-açúcar sob condições de matocompetição com *B. decumbens*, correlacionando os dados no intuito de obter informações acerca das interações competitivas entre a cana-de-açúcar e *B. decumbens*, bem como dos graus de habilidade competitiva das variedades testadas. Plantas de cana-de-açúcar com 180 dias de idade foram cortadas e a matocompetição aplicada à rebrota por 270 dias após o corte, sendo avaliados os parâmetros ecofisiológicos e de produção ao final deste período. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelas variedades Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541; e as subparcelas pela presença ou não da planta infestante. De acordo com os resultados, todas as variedades testadas foram, em geral, severamente prejudicadas nos componentes de produção, exceto quanto ao teor de sólidos solúveis, que foi incrementado. No entanto, as perdas sofridas pela variedade RB92579 foram menos intensas, sendo também esta variedade a que apresentou maior estabilidade quanto aos parâmetros ecofisiológicos, o que indica que RB92579 possui maior habilidade competitiva quando comparada às demais variedades testadas.


**Palavras-chave:** *Saccharum* ssp, capim-braquiária, estresse biótico, trocas gasosas em cana-de-açúcar.

**ABSTRACT**

**Título**: **GAS EXCHANGE AND COMPETITIVE ABILITY OF FOUR SUGARCANE VARIETIES UNDER WEED COMPETITION WITH *Brachiaria decumbens* Stapf.**

The weed competition is one of the factors that cause yield loss in the cane fields, being can highlight *Brachiaria decumbens* Stapf., popularly called signal grass. Difficult to control, is an invasive plant with high survivability. The sugarcane varieties have different degrees of competitive ability under weed competition condition. Thus, in this study were evaluated the yield components and gas exchange of four sugarcane varieties under weed competition conditions with *B. decumbens*, correlating the data in order to get information about the competitive interactions between the sugarcane and *B. decumbens*, as well as of the competitive ability degrees among the tested varieties. Sugarcane plants with 180 days old were cut and the weed competition applied to regrowth for 270 days after cutting, being evaluated the ecophysiological and production parameters at the end this period. The experimental design used was the randomized block design with four replications, in a split-plot scheme, being the plots composed by varieties Co 997, RB867515, RB92579 and RB951541; and the subplots by presence or not of weed plant. According results, all varieties tested were, in general, severely damaged in the yield components, except for the soluble solids, which was incremented. However, the losses suffered by RB92579 variety were less intense, being this variety that also presented the highest stability as the ecophysiological parameters, indicating that RB92579 has greater competitive ability when compared to other varieties tested.

**Key-words:** *Saccharum* ssp, *Brachiaria decumbens*, biotic stress, sugarcane gas exchange.

## 6.1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.Híbridos) tem sido importante para a economia do Brasil desde o início do século XVI e encontra-se em contínua expansão, com aumento progressivo da capacidade produtiva e de área plantada ao longo dos últimos anos, sendo o país o principal produtor mundial (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011; NEVES; TROMBIN, 2014).

A busca pelo aumento da produtividade das culturas, de maneira sustentável, na agricultura moderna requer o conhecimento cada vez maior das influencias que o meio ambiente causa nas plantas cultivadas (BEHMANN et al., 2015). Dentre os fatores ambientais que comprometem o rendimento dos canaviais pode-se citar o estresse biótico causado pela matocompetição com as plantas invasoras. Embora a cana-de-açúcar, por ser uma planta C4, possua alta eficiência na utilização dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, apresenta crescimento inicial lento, o que é uma desvantagem em relação às plantas infestantes (PROCÓPIO et al., 2003).

Ao contrário, devido à sua grande capacidade de sobrevivência, a gramínea *Brachiaria decumbens* Stapf, conhecida popularmente pela denominação de capim-braquiária tornou-se uma invasora poderosa, infestando não só terrenos baldios e margens de estrada, como também pomares e lavouras anuais e perenes. A situação torna-se ainda mais grave quando uma área de pastagem, anteriormente cultivada com braquiária como espécie forrageira, é transformada em solo cultivado com espécies agrícolas (LORENZI, 2008). Por isso, o controle da matocompetição deve ser realizado de tal forma que permita à cana se desenvolver primeiro que a braquiária (KUVA et al., 2001).

Sendo de difícil controle, a matocompetição de espécies do gênero *Brachiaria* nos canaviais pode provocar severas alterações nas características morfoanatômicas, (FIGUEIREDO et al., 2013), bem como comprometimento de parâmetros relacionados às trocas gasosas, como taxa fotossintética, condutância estomática e eficiência do uso da água (GALON et al., 2013), acarretando, além da redução no perfilhamento da cana-de-açúcar e da produtividade dos colmos e sacarose, em dificuldades nas operações de colheita e redução da longevidade do canavial (PROCÓPIO et al., 2003).

Vale ressaltar a importância no manejo varietal nos canaviais, visando reduzir os efeitos dos estresses ambientais mediante uso de genótipos mais adaptados ao ambiente em questão. As diferentes variedades têm comportamentos diferentes quando submetidas as mesmas condições de competição. A escolha da variedade certa proporcionará a esta uma

vantagem competitiva sobre a interferência das plantas daninhas, preservando suas características agronômicas e maiores produtividades (BARBOSA et al., 2013).

Nesse sentido, levando-se em conta que fatores ambientais de estresse, tais como a matocompetição, geralmente prejudicam as propriedades fisiológicas e fotossintéticas das plantas (GALON et al., 2013), a análise dos parâmetros ecofisiológicos, tais como os relacionados com as trocas gasosas, podem fornecer subsídios importantes para os programas de triagem e seleção de genótipos mais adaptados, uma vez que é capaz de detectar pequenos desvios da normalidade do funcionamento fotossintético (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Assim, no intuito de auxiliar os trabalhos de seleção, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os parâmetros de produção (biométricos e tecnológicos) e parâmetros ecofisiológicos de quatro variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB92579, RB951541 e Co 997) submetidas à matocompetição com *B. decumbens,* no intuito de buscar as correlações entre esses parâmetros e fornecer informações úteis acerca dos graus de sensibilidade das variedades citadas ante os efeitos da competição com plantas infestantes.

## 6.2. Material e Métodos

O material propagativo consistiu em seções de colmos sadios, com apenas uma gema, de quatro diferentes variedades de cana-de-açúcar (Co 997, RB 867515, RB 92579 e RB 951541), provenientes de viveiros localizados nos Estados de Alagoas e Sergipe. O plantio foi realizado em bandejas plásticas contendo substrato composto de mistura de solo, esterco bovino e vermiculita (1:1:1) a aproximadamente 2-3 cm de profundidade e em casa de vegetação, com temperatura ajustada para 28ºC (URASHIMA; GRACHET, 2012), sob luz natural e regas duas vezes por semana. Após a germinação, as plantas foram mantidas na casa de vegetação (localizada no Campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe – UFS) por 30 dias, sendo posteriormente transplantadas para o Campus Rural da UFS, onde, após 180 dias foram cortadas. A área onde o experimento foi instalado possui histórico de cultivo de *B. decumbens*, apresentando, por isso, alto índice de infestação. Todas as parcelas experimentais foram mantidas livres de plantas infestantes até o corte da cana-de-açúcar. Posteriormente, as parcelas destinadas ao tratamendo "sem matocompetição" foram regularmente capinadas manualmente, enquanto as destinadas ao tratamento "com matocompetição" não o foram, permitindo que a rebrota da cana-de-açúcar se desenvolvesse naturalmente junto com *B. decumbens*. Outras plantas infestantes foram sistematicamente retiradas até que as populações da cana-de-açúcar e *B. decumbens* cobrissem o solo.

As medições de trocas gasosas foram realizadas de acordo com metodologia proposta por Zhao et al. (2010) adaptada. Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática ($G_S$), transpiração (E), concentração interna de carbono (Ci), déficit de pressão de vapor de água entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) e eficiência do uso da água (EUA) foram mensurados utilizando um sistema analisador de gás a infravermelho IRGA (LI-COR Nebrasca, USA) modelo LI-6400XT. A radiação fotossinteticamente ativa fornecida por uma fonte de luz artificial acoplada foi ajustada para 1500 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, a concentração de $CO_2$ para 380 μl.$litro^{-1}$ e a umidade relativa para 45%, com temperatura ambiente. As medições ocorreram duzentos e setenta dias após o corte, entre 7:00 e 10:00 horas, na porção mediana de folhas +1, completamente expendida.

Para a determinação de clorofilas *a*, *b*, e total foram medidos os teores relativos de clorofila na folha através de um sistema medidor de clorofila Clorofilog (Falker), de maneira não destrutiva. As medições foram realizadas nas mesmas datas das demais análises, na porção mediana da folha +1.

Para as análises dos componentes de produção, foi seguido o método proposto por Martins e Landell (1995). Cinco colmos industrializáveis foram retirados de cada parcela experimental para as leituras, sendo cortados rente ao solo e o ápice removido no "ponto de quebra" do palmito.

Em relação aos parâmetros biométricos, foram mensurados: número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI $m^{-1}$), diâmetro médio dos colmos (DMC), estatura média dos colmos (EMC) e estimativa de produtividade, expressa em tonelada de cana/colmo por hectare (TCH). A mensuração do diâmetro foi realizada no terço médio do colmo, utilizando-se um paquímetro. Para a determinação da estatura média dos colmos utilizou-se uma trena, sendo considerada apenas a porção industrializável.

De posse dos dados acima descritos e, considerando a densidade do colmo igual a um (1), aplicou-se a fórmula descrita por Martins e Landell (1995):

$TCH=D^2 \times C \times H \times (0{,}007854/E)$ onde;

D= diâmetro de colmos (cm);

C= número de colmos por metro linear;

H= comprimento médio de colmos (cm);

E= espaçamento entre sulcos (m).

Em relação aos parâmetros tecnológicos, foram mensurados: concentração de sólidos solúveis, peso médio dos colmos (PMC) e peso de parcela (PP). Para a determinação da

concentração de sólidos solúveis foi utilizado um refratômetro, sendo a medida expressa °Brix. O peso médio de colmos foi obtido a partir da média de cinco colmos por parcela.

O experimento foi disposto de acordo com o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas pelas quatro variedades de cana-de-açúcar (Co 997, RB867515, RB92579 e RB951541) e as subparcelas pela presença (Com) ou não (Sem) da matocompetição. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para verificar a necessidade de transformação dos dados, e posteriormente à análise de variância (ANAVA). Para os testes significativos foi realizada a comparação das médias utilizando o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

## 6.3. Resultados e Discussões

As variedades Co 997 e RB867515 apresentaram, em condições normais de cultivo, as maiores taxas fotossintéticas (A), no entanto, ambas sofreram reduções severas, de 59% e 38% respectivamente, quando expostas à matocompetição. As variedades RB92579 e RB951541, embora tivessem apresentados valores de A abaixo das acima citadas, não sofreram declínio quando submetidas à matocompetição, apresentando, nessas condições valores de A maiores que as demais, com RB92579 estatisticamente superior à RB951541 (Figura 6.1a)

A redução da condutância estomática (Gs), nas variedades Co 997 e RB867515 (Figura 6.1b), provavelmente foi a causa da redução da A em ambas, uma vez que o aparato estomático é responsável pela entrada de gases na planta e seu declínio afeta o processo de ganho fotossintético ao limitar o influxo de $CO_2$ na planta (LARCHER, 2006). Além disso, as variações da Gs, juntamente com as respostas da A, estão intimamente relacionados com a concentração interna de $CO_2$ (Ci) (GALON et al., 2013), sendo o aumento ou a redução desse parâmetro determinados pelo balanço entre o $CO_2$ consumido no processo fotossintético e a reposição do mesmo via influxo do meio exterior, através da abertura estomática (LACHER, 2006; LEHRER; KOMOR, 2009). Assim, a redução da Ci, observada na variedade Co 997, possivelmente foi causada pela redução significativa do influxo de $CO_2$ após o fechamento estomático. Em contrapartida, o aumento do Ci, na variedade RB867515, pode estar relacionado à redução do consumo de $CO_2$ pelo processo fotossintético após a redução de A, ou seja, o consumo de $CO_2$ foi mais afetado que o seu influxo (Figura 6.1 a,b,c).

O aumento significativo do déficit de pressão de vapor ($DPV_{folha-ar}$) verificado em todas as variedades testadas (Figura 6.1e) pode ter sido reflexo de uma condição de limitação do suprimento de água nos tecidos foliares, decorrente da competição intensa da cana-de-

açúcar com o capim-braquiária, uma vez que, segundo Lorenzi (2008), a condição de matocompetição causa importantes interferências na cultura agrícola na medida em que se intensifica a competição por recursos vitais, dentre eles, a água. Essa condição provavelmente foi responsável pela redução da Gs e consequente redução da transpiração (E) das variedades Co 997 e RB867515 (Figura 6.1d), uma vez que a limitação do suprimento de água pode acarretar em comprometimento da reserva de água nas folhas e desencadear um processo de fechamento estomático como meio de regular e reduzir a perda de água para a atmosfera, evitando assim a desidratação dos tecidos (SUNITA et al., 2014; YOUNG et al.; 1997).

A maior sensibilidade das variedades Co 997 e RB867515, quanto aos parâmetros das trocas gasosas, provavelmente está relacionada ao comportamento estomático de ambas. A redução significativa da Gs, como estratégia de sobrevivência para evitar a perda de água, em resposta à condição de matocompetição, limitou a A, ao contrário do observado nas variedades RB92579 e RB951541. No entanto, a eficiência do uso da água (EUA), definida como a razão entre os parâmetros A e E, foi comprometida em todas as variedades, com excessão da RB92579, que se manteve estável (Figura 6.1f). Essa redução provavelmente ocorreu devido às alterações do $DPV_{folha-ar}$, uma vez que a EUA é afetada quando as condições de difusão do $CO_2$ e/ou da água se modificam (LARCHER, 2006). Assim, pode-se sugerir que o comportamento da variedade RB92579 indica maior adaptabilidade dessa variedade em condições adversas de matocompetição (GALON et al., 2013) devido, provavelmente, a uma maior eficiência no ajuste estomático, que proporciona maior habilidade na manutenção da A mesmo quando ocorre pequena deficiência hídrica (FLOSS, 2008). Alterações da EUA decorrentes da matocompetição também foram constatadas em outros estudos com cana-de-açúcar (GALON et al, 2010; GALON et al., 2013).

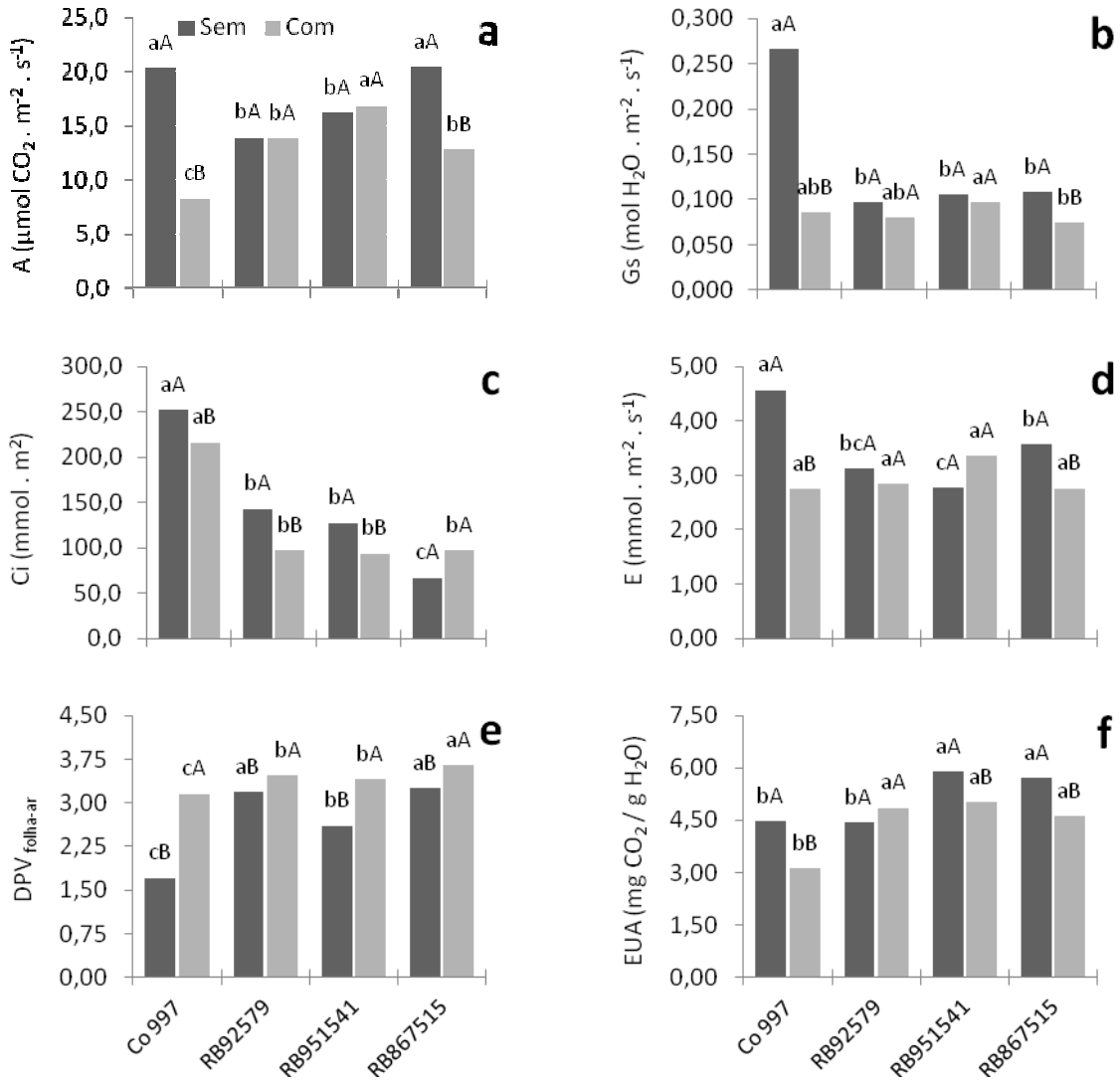


**Figura 6.1.** Parâmetros de trocas gasosas: A - Taxa fotossintética (a); Gs - Condutância estomática (b); Ci - Concentração interna de $CO_2$ (c); E - Transpiração (d); $DPV_{folha\text{-}ar}$ Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (e); e EUA - Eficiência do uso da água (f).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de competição", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os teores de clorofila sofreram reduções significativas em todas as variedades (Figura 6.2). A deficiência da clorofila acarretou no amarelecimento das folhas (clorose) e ocorreu, provavelmente devido ao desbalanceamento em relação ao abastecimento mineral (LARCHER, 2006) decorrente da competição por nutrientes com o capim braquiária (LORENZI, 2008).

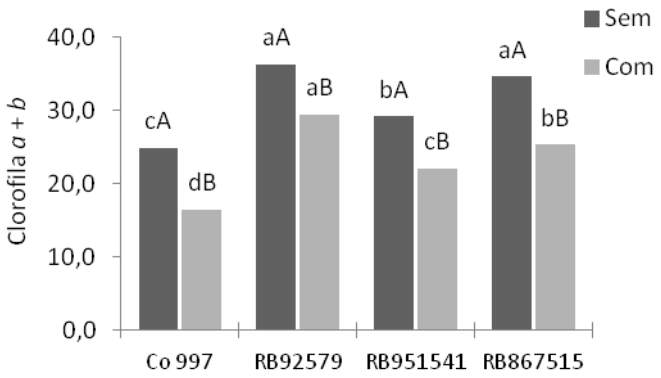


**Figura 6.2.** Clorofila total a + b.
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de inoculação", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

As alterações dos padrões das trocas gasosas, em virtude da matocompetição,tiveram consequências severas nos componentes de produção (biométricos e tecnológicos), com perdas de rendimento nos parâmetros relacionados ao desenvolvimento da planta sendo constatadas em todas as variedades testadas. Segundo Larcher (2006) um estresse ambiental afeta os processos envolvidos na produção de matéria seca na medida em que afetam as trocas gasosas e, consequentemente, a produção de fotossintados (LARCHER, 2006). Reduções dos parâmetros ecofisiológicos com consequente perda de rendimento também foram constatados em plantas em cana-de-açúcar em matocompetição com *Brachiaria brizantha* (GALON et al. 2013).

Em relação aos componentes biométricos, foram avaliados: estatura média dos colmos (EMC), diâmetro médio dos colmos (DMC), número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI) e estimativa de produtividade (TCH), este último calculado a partir dos outros três. A EMC sofreu declínio em todas as variedades, variando de 18% (RB92579) a 48,7% (Co 997) (Figura 6.3a). O DMC foi incrementado na variedade RB92579 em aproximadamente 5%, sofrendo reduções nas demais e, em maior intensidade na Co 997, com declínio de 26,7% (Figura 6.3b). O NPI, dos três parâmetros utilizados para o cálculo do TCH, foi o que mais foi afetado pela matocompetição, com prejuízos que variaram de 43,5% (RB951541) a 63% (RB92579) (Figura 6.3c), provavelmente como consequencia da limitação da radiação pela competição com a braquiária, uma vez que o sombreamento da cana-de-açúcar induz a inibição do perfilhamento (MAGALHÃES, 1987).

Os resultados de TCH expressam de forma mais contundente a amplitute do dano causado ao cultivo da cana-de-açúcar, no presente estudo, pela matocompetição com a braquiária, podendo-se verificar as reduções de 89% (Co 997), 81,7% (RB951541), 77% (RB867515) e 67% (RB92579) (Figura 6.3d). O incremento do DMC verificado na variedade

RB92579 foi a única excessão dentre um quadro geral de declínio de rendimento, fator esse que contribuiu decisivamente para que esta variedade fosse a menos prejudicada quanto a TCH, ainda que tenha sido a que mais sofreu declínio no parâmetro NPI. Esse fato está de acordo com o observado por Oliveira et al. (2004), que verificou que a emissão de um número menor de perfilhos pode proporcionar à planta melhores condições de desenvolver colmos com diâmetros maiores, e que um maior perfilhamento não implica necessariamente em maior produtividade.

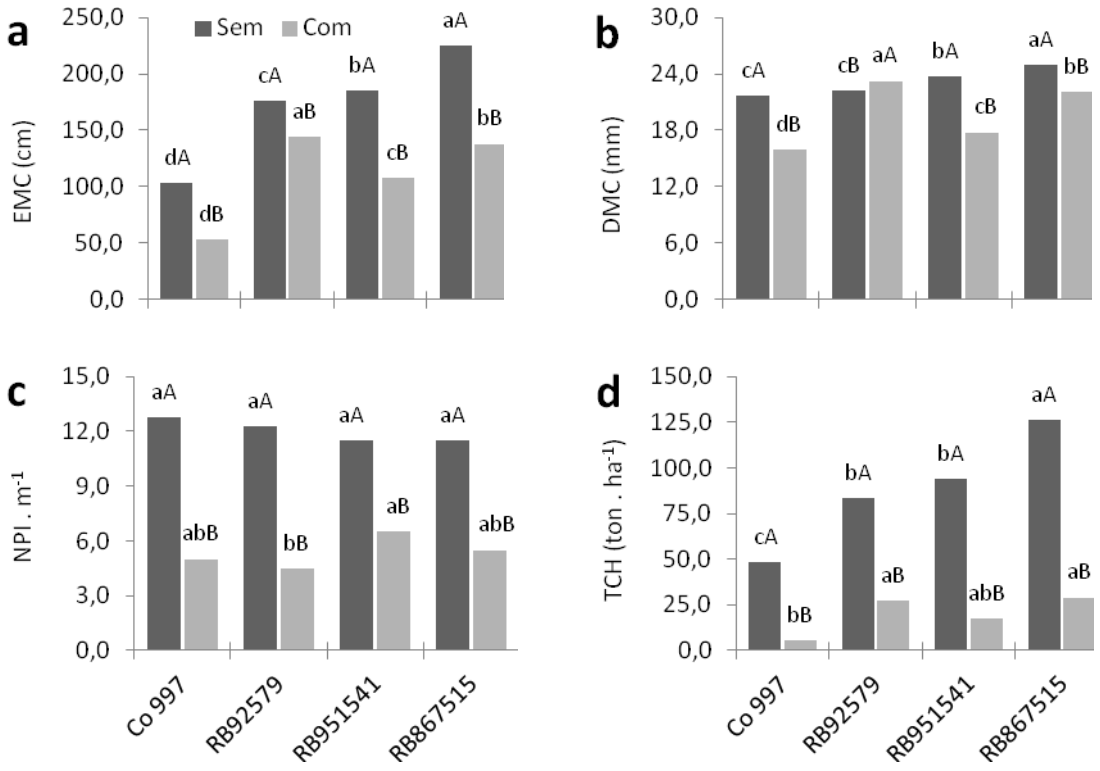


**Figura 6.3.** Parâmetros Biométricos: EMC = Estatura média de colmo (a), DMC= Diâmetro médio de colmo (b), NPI = Número de perfilhos industrializáveis por metro linear (c) e TCH = Toneladas de cana por hectare (d).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis de competição", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Em relação aos componentes tecnológicos, foram avaliados os parâmetros peso médio dos colmos (PMC), peso da parcela (PP) e teor de sólidos solúveis (°Brix). Em relação ao PMC, todas as variedades sofreram queda de rendimento, variando de 23% (RB92579) a 69,5% (Co 997) (Figura 6.4a). Esse mesmo padrão de comportamento foi observado em relação ao PP, com reduções em todas as variedades, variando de 72,4% (RB92579) a 87,7% (Co 997) (Figura 6.4b). Em contrapartida, foi verificado que a matocompetição promoveu incremento no teor de sólidos solúveis em todas as variedades (Figura 6.4c), o que pode estar associado à indução prematura da maturação em resposta às condições adversas em que as

plantas se encontravam, com limitação hídrica e/ou nutricional, provocando a canalização dos fotossintados para os tecidos de armazenamento (MAGRO et al., 2011); ou por conta da concentração dos fotossintados devido ao menor aporte de água para os tecidos das plantas.

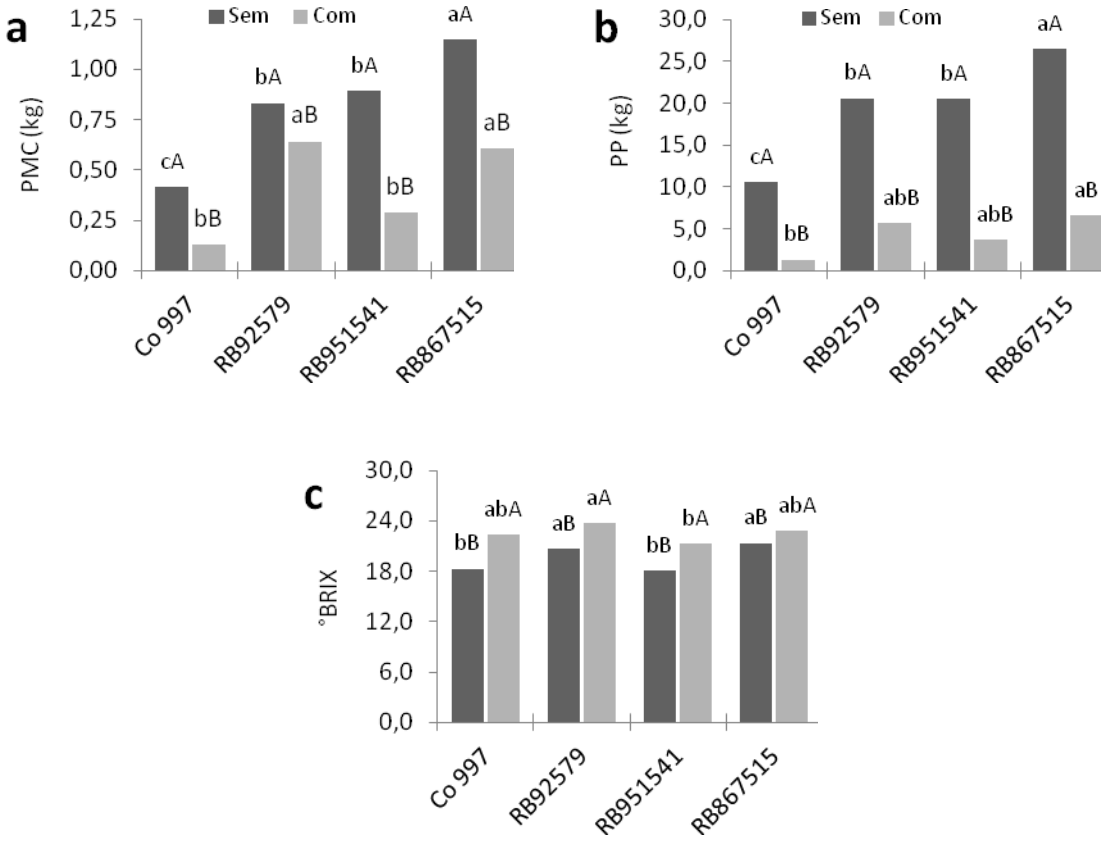


**Figura 6.4.** Parâmetros Tecnológicos: PMC = Peso médio de colmo (a), PP = Peso da parcela (b) e Brix = sólidos solúveis (c).
Médias seguidas de mesma letra minúscula entre tratamentos de "variedades" e mesma letra maiúscula entre tratamentos "níveis competição", não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Diante do exposto, percebe-se que dentre as variedades testadas, embora a RB867515 tenha apresentado maiores valores de produção quando em condições normais de cultivo, foi bastante sensível aos efeitos da matocompetição, sofrendo diversas alterações nos padrões ecofisiológicos, o que provocou perdas significativas nos componentes de produção, não superando estatisticamente a variedade RB92579 em todos os parâmetros. Vale ressaltar que RB92579 é uma variedade tardia, de crescimento lento (RIDESA, 2010) e, portanto, demanda mais tempo para se desenvolver fenotipicamente.

## 6.4. Conclusões

As quatro variedades testadas no presente experimento são significativamente prejudicadas pela matocompetição com *B. decumbens*, apresentando, no entanto, diferenciação entre elas quanto ao grau de habilidade competitiva.

As variedades Co 997 e RB867515 são mais afetadas em relação às trocas gasosas, tendo como reflexo maior severidade nas perdas relacionadas aos componentes de produção.

As variedades RB92579 e RB951541 são menos sensíveis à matocompetição, sendo menos afetadas quanto às trocas gasosas. No entanto, de modo geral, a variedade RB92579 supera a variedade RB951541 (e consequentemente às demais), apresentando maior habilidade competitiva em condições de matocompetição com *B. decumbens.*

## 6.5. Referências Bibliográficas

BAKER N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany,**.v. 55, p. 1607-21, 2004.

BARBOSA, E. A.; JÚNIOR, A. dos S.; SANTOS, L. D. T.; COSTA, G. A.; CRUZ, L. R.; BARROS, R. E.; SANTOS I. T. Dinâmica de infestação de plantas daninhas em variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1920-1931, 2013.

BEHMANN, J.; MAHLEIN, A. –K.; RUMPF, T.; RÖMER, C.; PLÜMER, L. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 239-260, 2015.

FIGUEIREDO, P.A.M.; RAMOS, S.B.; VIANA, R.S.; LISBOA, L.A.M.; HEINRICHS, R. Alterações morfoanatômicas foliares da cana-de-açúcar na fase de estabelecimento em condições de matocompetição. **Planta daninha,** v. 31, n. 4, p.777-784, 2013.

GALON, L.; CONCENCO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. F. da; GIACOBBO, C. L.; ANDRES, A. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. In: DUBINSKY, Z. (Ed.). **Photosynthesis**. Rijeka: In Tech, 2013. cap. 7, p. 185-208. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/55255> Acesso em: 20 jun. 2015.

GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A. F.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; TIRONI, S. P.; FREITAS, M. A. M; SOARES, E. R. Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos a aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 777-784, 2010.

FLOSS, E. **Fisiologia das plantas cultivadas:** o estudo que está por trás do que se vê. 4.ed. Passo Fundo: UPF, 2008. 733 p.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II - capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: RiMa, 2006. 531 p.

LEHRER, A. T.; KOMOR, E. Carbon dioxide assimilation by virus-free sugarcane plants and by plants which were infected by Sugarcane Yellow Leaf Virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. v.73, p. 147-153, 2009.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil:** terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.(Ed.). **Ecofisiologia da Produção agricola.** Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 113-118.

MAGRO, F. J. TAKAO, G.; CAMARGO, P. E. TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Produção de Cana-de-Açúcar. 2011, 18p.

MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. de A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agronômico, 1995. 45 p.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. (Org.). **A dimensão do setor Sucroenergético**: mapeamento e quantificação da safra 2013/14. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOERLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, v.5., n.1-2, p.87-94, 2004

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manual de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa, MG, 2003. 150p.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar.** Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010. 136 p.

SUNITA, C.; SINCLAIR, T. R.; MESSINA, C. D.; COOPER, M. Hydraulic conductance of maize hybrids differing in transpiration response to vapor pressure deficit. **Crop Science,** v. 54, p. 1147-1152, 2014.

URASHIMA, A. S.; GRACHET, N. G. Métodos de detecção de *Leifsonia xyli* subsp. x*yli* e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 37(1), p. 57-64, 2012.

YONG, J. W. H.; WONG, S. C.; FARQUHAR, G. D. Stomatal responses to changes in vapour pressure difference between the leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p.1213-1216, 1997.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. Sugarcane response to waterdeficit stress during early growth on organic and sand soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. v. 5, p. 403-414, 2010.

# ANEXOS

**QUADRO 1** – Resumo da análise de variância de Taxa fotossintética (A), Condutância estomática (Gs), Concentração interna de $CO_2$ (Ci), Transpiração (E), Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) e Eficiência do uso da água (EUA). Experimento: Raquitismo da soqueira / *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. (*Lxx*).

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | A | Gs | Ci | E | $DPV_{folha-ar}$ | EUA |
| Bloco | 3 | 2,67396 | 0,00013 | 88,5721 | 0,14453 | 0,00868 | 0,05993 |
| Var | 3 | 41,99107** | 0,01554** | 20575,55** | 2,25210** | 0,72896** | 4,13886** |
| Resíduo a | 9 | 4,84680 | 0,00018 | 299,6563 | 0,26388 | 0,01257 | 0,31679 |
| Parcelas | 15 | | | | | | |
| Lxx | 1 | 52,56236** | 0,01356** | 909,7739* | 0,51213* | 1,40994** | 1,29290** |
| Var x Lxx | 3 | 8,727330* | 0,01133** | 6581,581** | 0,62027** | 1,34262** | 0,57202** |
| Resíduo b | 12 | 15,3223 | 0,00008 | 128,7740 | 0,05583 | 0,01696 | 0,06304 |
| Total | 31 | | | | | | |
| CV% a | | 13,41 | 11,20 | 12,18 | 15,20 | 3,87 | 11,43 |
| CV% b | | 7,54 | 7,10 | 7,99 | 6,99 | 4,50 | 5,10 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
ns F não significativo a 5% de probabilidade

**QUADRO 2** – Resumo da análise de variância de Clorofila a (Chla), Clorofila b (Chlb), Clorofila total (Chla+Chlb), Relação a/b (Chla/Chlb), Fluorescência inicial (F0), Fluorescência áxima (Fm), e Eficiência máxima do PSII (Fv/Fm). Experimento: Raquitismo da soqueira / *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. (*Lxx*).

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | Chla | Chlb | Chla+Chlb | Chla/Chlb | F0 | Fm | Fv/Fm |
| Bloco | 3 | 0,95875 | 0,33083 | 1,97875 | 0,01646 | 20,8750 | 1077,417 | 0,000063 |
| Var | 3 | 75,79375** | 32,15750** | 205,3237** | 1,659970** | 150,7083** | 3819,083** | 0,000083$^{ns}$ |
| Resíduo a | 9 | 1,00236 | 0,38833 | 2,05569 | 0,02700 | 14,1250 | 376,0555 | 0,00007 |
| Parcelas | 15 | | | | | | | |
| Lxx | 1 | 12,75125* | 4,205000* | 31,60125* | 0,296490** | 12,50000$^{ns}$ | 2520,500$^{ns}$ | 0,000528* |
| Var x Lxx | 3 | 14,24208** | 2,815830* | 29,03875** | 0,07216* | 26,41667$^{ns}$ | 580,5833$^{ns}$ | 0,000004$^{ns}$ |
| Resíduo b | 12 | 1,93104 | 0,56396 | 4,13687 | 0,01935 | 27,27083 | 621,6458 | 0,000059 |
| Total | 31 | | | | | | | |
| CV% a | | 4,38 | 8,48 | 4,74 | 5,10 | 5,35 | 5,93 | 1,08 |
| CV% b | | 6,08 | 10,22 | 6,73 | 4,32 | 7,43 | 7,62 | 0,98 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
$^{ns}$ F não significativo a 5% de probabilidade

**QUADRO 3** – Resumo da análise de variância de Estatura média dos colmos (EMC), Diâmetro médio dos colmos (DMC), Número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI), Estimativa de produtividade (TCH), Peso médio de colmos (PMC), Peso de parcela (PP), Teor de sólidos solúveis (°Brix). Experimento: Raquitismo da soqueira / *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*. (*Lxx*).

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | EMC | DMC | NPI | TCH | PMC | PP | SS |
| Bloco | 3 | 11,98112 | 0,00913 | 0,61458 | 291,3828 | 0,07924 | 60,98398 | 1,29695 |
| Var | 3 | 21591,79** | 0,15735** | 8,11458* | 7680,576** | 0,73612** | 316,2612** | 37,09237** |
| Resíduo a | 9 | 2,79362 | 0,00088 | 1,420214 | 138,019 | 0,01611 | 12,4464 | 0,82681 |
| Parcelas | 15 | | | | | | | |
| Lxx | 1 | 66,84570** | 0,00038$^{ns}$ | 2,53125$^{ns}$ | 163,8466$^{ns}$ | 0,00062$^{ns}$ | 18,40667$^{ns}$ | 0,022580$^{ns}$ |
| Var x Lxx | 3 | 265,7415** | 0,01431** | 5,61458* | 38,19019$^{ns}$ | 0,01315$^{ns}$ | 3,509370$^{ns}$ | 6,720080* |
| Resíduo b | 12 | 2,74674 | 0,00176 | 1,01042 | 102,9901 | 0,00557 | 6,43441 | 1,51174 |
| Total | 31 | | | | | | | |
| CV% a | | 0,96 | 1,28 | 10,17 | 13,70 | 15,52 | 18,78 | 4,64 |
| CV% b | | 0,95 | 1,82 | 8,58 | 11,84 | 9,13 | 13,50 | 6,27 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
$^{ns}$ F não significativo a 5% de probabilidade

**QUADRO 4** – Resumo da análise de variância de Taxa fotossintética (A), Condutância estomática (Gs), Concentração interna de $CO_2$ (Ci), Transpiração (E), Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) e Eficiência do uso da água (EUA). Experimento: Matocompetição / *Brachiaria decumbens*.

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | A | Gs | Ci | E | $DPV_{folha-ar}$ | EUA |
| Bloco | 3 | 1,76750 | 0,00019 | 281,989 | 0,10066 | 0,00362 | 0,03810 |
| Var | 3 | 16,68109* | 0,01396** | 35697,13** | 0,73045** | 1,63972** | 4,21720** |
| Resíduo a | 9 | 2,49999 | 0,00011 | 334,1025 | 0,05676 | 0,00875 | 0,66867 |
| Parcelas | 15 | | | | | | |
| Mato | 1 | 182,2983** | 0,02852** | 3663,690* | 2,68598** | 4,25974** | 4,14845** |
| Var x Braq | 3 | 75,30574** | 0,01310** | 2432,888** | 2,04042** | 0,54307** | 1,21029* |
| Resíduo b | 12 | 1,75268 | 0,00016 | 427,77697 | 0,19261 | 0,00399 | 0,21688 |
| Total | 31 | | | | | | |
| CV% a | | 10,33 | 9,20 | 13,37 | 7,41 | 3,07 | 5,72 |
| CV% b | | 8,65 | 11,05 | 15,13 | 13,64 | 2,07 | 9,77 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
ns F não significativo a 5% de probabilidade

**QUADRO 5** – Resumo da análise de variância de Clorofila a (Chla), Clorofila b (Chlb), Clorofila total (Chla+Chlb), Relação a/b (Chla/Chlb), Fluorescência inicial (F0), Fluorescência áxima (Fm), e Eficiência máxima do PSII (Fv/Fm). Experimento: Matocompetição / *Brachiaria decumbens*.

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | Chla | Chlb | Chla+Chlb | Chla/Chlb | F0 | Fm | Fv/Fm |
| Bloco | 3 | 0,66042 | 0,10875 | 1,09917 | 0,01106 | 27,7500 | 223,750 | 0,00004 |
| Var | 3 | 108,6604** | 21,8671** | 227,0100** | 0,88911** | 93,50000$^{ns}$ | 2013,583$^{ns}$ | 0,00009$^{ns}$ |
| Resíduo a | 9 | 1,08958 | 0,21347 | 1,97083 | 0,02643 | 27,9167 | 662,9444 | 0,00015 |
| Parcelas | 15 | | | | | | | |
| Mato | 1 | 207,0612** | 63,28125** | 499,2800** | 4,00010** | 630,1250** | 55778,00** | 0,00998** |
| Var x Braq | 3 | 1,65375$^{ns}$ | 1,20375* | 2,56500$^{ns}$ | 0,10104** | 10,45833$^{ns}$ | 90,08333$^{ns}$ | 0,00002$^{ns}$ |
| Resíduo b | 12 | 20,1475 | 0,32312 | 3,27292 | 0,01631 | 8,29167 | 396,3958 | 0,0001 |
| Total | 31 | | | | | | | |
| CV% a | | 4,98 | 7,33 | 5,15 | 4,68 | 7,95 | 8,75 | 1,56 |
| CV% b | | 6,18 | 9,01 | 6,64 | 3,67 | 4,33 | 6,77 | 1,28 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
$^{ns}$ F não significativo a 5% de probabilidade

**QUADRO 6** – Resumo da análise de variância de Estatura média dos colmos (EMC), Diâmetro médio dos colmos (DMC), Número de perfilhos industrializáveis por metro linear (NPI), Estimativa de produtividade (TCH), Peso médio de colmos (PMC), Peso de parcela (PP), Teor de sólidos solúveis (°Brix). Experimento: Matocompetição / *Brachiaria decumbens*.

| | | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F.V. | G.L. | EMC | DMC | NPI | TCH | PMC | PP | SS |
| Bloco | 3 | 5,13737 | 0,01663 | 0,20833 | 127,0075 | 0,03723 | 17,63411 | 0,40083 |
| Var | 3 | 15905,83** | 0,37273** | 0,70833$^{ns}$ | 3478,889** | 0,53776** | 156,1780** | 12,43646** |
| Resíduo a | 9 | 2,00890 | 0,00212 | 0,56944 | 59,57580 | 0,01031 | 4,60674 | 1,39674 |
| Parcelas | 15 | | | | | | | |
| Mato | 1 | 30519,93** | 0,85314** | 351,1250** | 36502,97** | 1,32975** | 1858,591** | 69,32531** |
| Var x Braq | 3 | 1283,669** | 0,20033** | 3,70833$^{ns}$ | 1110,964** | 0,07972** | 40,11846* | 2,34302$^{ns}$ |
| Resíduo b | 12 | 2,41341 | 0,00270 | 1,22917 | 81,46148 | 0,00628 | 7,46612 | 0,70901 |
| Total | 31 | | | | | | | |
| CV% a | | 1,00 | 2,15 | 8,69 | 14,44 | 16,42 | 18,00 | 5,61 |
| CV% b | | 1,10 | 2,43 | 12,76 | 16,88 | 12,82 | 22,91 | 4,00 |

** F significativo a 1% de probabilidade
* F significativo a 5% de probabilidade
$^{ns}$ F não significativo a 5% de probabilidade