

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

LUMENA FEITOSA DUDA

MORFOLOGIA EPIDÉRMICA E TROCAS GASOSAS EM VARIEDADES  
DE CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES GRAUS DE TOLERÂNCIA À  
DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RECIFE-PE

2014

LUMENA FEITOSA DUDA

MORFOLOGIA EPIDÉRMICA E TROCAS GASOSAS EM VARIEDADES  
DE CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES GRAUS DE TOLERÂNCIA À  
DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Francisco Pompelli

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Laurício Endres

RECIFE-PE  
2014

Catálogo na fonte  
Elaine Barroso  
CRB 1728

**Duda, Lumena Feitosa**

**Morfologia epidérmica e trocas gasosas em variedades de cana-de-açúcar com diferentes graus de tolerância à deficiência hídrica/ Lumena Feitosa Duda– Recife: O Autor, 2014.**

**54 folhas : il., fig., tab.**

**Orientador: Marcelo Francisco Pompelli**

**Coorientador: Lauricio Endres**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas. Biologia Vegetal, 2014.**

**Inclui referências e anexos**

- 1. Cana-de-açúcar 2. Fisiologia vegetal 3. Plantas- anatomia  
I. Pompelli, Marcelo Francisco (orientador) II. Endres, Lauricio  
(coorientador) III. Título**

**584.92**

**CDD (22.ed.)**

**UFPE/CCB-2016-191**

LUMENA FEITOSA DUDA

**“MORFOLOGIA EPIDÉRMICA E TROCAS GASOSAS EM  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES GRAUS  
DE TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA”**

APROVADO EM 19/02/2014

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Marcelo Francisco Pompelli (Orientador) – UFPE

---

Dr. Werner Camargos Antunes (Titular Externo) – UEM

---

Dra. Sandra Maria Carmello-Guerreiro (Titular Externa) – UNICAMP

Recife, 2014

Dedico aos meus pais (Marleide e Gláucio) e irmão (Gustavo) pelo apoio, amor e inspiração, que permaneceram sempre do meu lado. E dedico a Deus e a Maria que sempre me deram forças pra continuar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por cada mínimo milagre que Ele proporcionou e proporcionará em minha vida, por Ele junto da intercessão de Nossa Senhora me darem forças sempre, e pelos anjos que Ele sempre coloca em nossas vidas.

Agradeço a minha família: meus pais (Marleide Feitosa Duda e Gláucio Feitosa Duda) e ao meu irmão (Gustavo Feitosa Duda), que são a base sólida da minha vida e que me são inspiração de força e fé, e que da maneira de cada um me ajudaram e foram exemplo pra mim.

Agradeço aos amigos: Juliana Sauv e, que acompanhou o meu processo do mestrado desde o início, me dando abrigo e amor, e que agora, mesmo de longe ainda me d  sua amizade. Ao clube da sexta, Gabriela Souto, Kátia Marcedo e Mayra Limeira, pela amizade e onde cada um dos nossos encontros me proporcionou momentos memoráveis. A amiga Tatiana Porpino e sua família, pelo acolhimento em Recife e pelo carinho e amizade de longa data.

Agradeço aos irmãos da luz, amigos conquistados no EJC, que mesmo com pouco tempo já se fazem presentes nas ora es e nos encontros.

Agradeço as irmãs que encontrei pelo caminho: As meninas da família Cala a, Tatiane, Tamires e Talita, que me acolheram de cora o, me foram porto seguro em Recife, e se tornaram uma nova família para mim! Como também Iasmine Alves e Rafaela Ferreira, que me receberam no “ap ” e me deixaram ser parte dessa família.

Agradeço as minhas amigas Déborah Oliveira e Renata Chikowski que são minha casinha em Recife, pelas conversas, descontra es, e pela amizade que nos possibilitou uma convivência diária tranquila e uma cumplicidade inimaginável, e a Lia Chikowski, uma criança presente de Deus, que   sempre alegria nossas vidas.

Aos amigos conquistados através do PPGBV, Rafael Costa, pelas brincadeiras e conversas, Maria Fabíola Barros que me ofereceu um abrigo amigo e me ajudou nos primeiros passos em Recife. A Zezinho pela “tira o de onda” e pelas conversas e ajudas estatísticas e ecológicas. E a turma toda do mestrado 2012, pela companhia e cumplicidade nas disciplinas e no dia-a-dia.

A Ana Paula Lacchia, pela amizade, perseverança e ajuda sempre que eu precisei, e ao seu esposo Wellington que esteve conosco.

Agradeço também ao setor de microscopia eletrônica do CETENE, a Gabriela e a Josi, pela paciência e disponibilidade.

Ao laboratório de taxonomia e farmacobotânica da UFPB, como também a Professora Dra. Maria de Fátima Agra, e a Nathália Diniz Araújo, pela parceria e disponibilidade.

Agradeço aos amigos-científicos João Antônio e Bety, pelo apoio inicial e paciência com minhas dúvidas sobre o andamento do laboratório, e pelas palavras de força sempre que necessário, como também pelas conversas sobre Game of Thrones e the Walking Dead. Agradeço também as amigas-científicas e guerreiras Mariana Lins e Carol Pessoa, pela amizade, paciência, compartilhamento de conhecimento e apoio mútuo.

Um grande agradecimento aos outros integrantes do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (LEV): Marciel Oliveira, uma das pessoas mais prestativas e com um dom de ajudar, obrigada pelos seus ensinamentos, amizade e inspiração. A Hiram Falcão, um agradecimento especial pelas piadas e pela ajuda relacionada a força bruta, a como manusear a bomba de Scholander, e a usar o Origin. A Rebeca Rivas, pela dedicação e ajuda nos ensinamentos de como usar o IRGA e pela paciência sempre. A Gabriela Frosi, pela prestatividade e carinho, e sempre estando disposta a responder minhas dúvidas leigas. A Jaislanny Medeiros pela companhia e diversão durante as análises ecofisiológicas. Agradeço também a Maria Claudjane Alves, Karla Figueiredo, Natália Corte Real e a Naylis Nogueira, pela convivência, auxílio e aprendizado diário. Agradeço a Silvia Caroline, pela companhia e descontração nas nossas idas ao CETENE, e sempre estar disposta a me ajudar, sendo uma fofa. A Camila Dias, por altos papos ecofisiológicos e pelos momentos alegres.

Ao secretário do programa de pós-graduação em biologia vegetal, Adriano, como também ao Hildebrando, por sempre serem tão solícitos.

Ao Prof. Mauro Guida, pelo acolhimento tanto no PPGBV como no LEV.

A Profa. Emília Arruda, pelo acolhimento, paciência e incentivo na pesquisa voltada para anatomia vegetal.

Ao Prof. Laurício e seus alunos, que me ajudaram nas coletas no estado de Alagoas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos dois anos de bolsa concedidos.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Pompelli, pelo acolhimento no LEV, ensinamentos, discussão de ideias, paciência e pelo acompanhamento científico nessa etapa tão importante para mim.

## RESUMO

O aumento na demanda por produção de cana-de-açúcar exige maior investimento na geração de novas variedades tolerantes aos estresses bióticos e abióticos, melhorando as condições de plantio, colheita e produtividade. A produção de variedades tolerantes à seca, exige o conhecimento detalhado dos aspectos morfofisiológicos que distinguem entre os indivíduos mais vantajosos para o plantio. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar alguns aspectos anatômicos, espessura do mesofilo, arquitetura estomática, caracterização epidérmica, análises de trocas gasosas e potencial hídrico foliar entre as variedades sensíveis RB855536 e RB72454 e as tolerantes RB867515 e RB92579 ao déficit hídrico. Verificou-se que o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi menor na estação seca, em especial àquele medido ao meio dia. A variedade RB72454 obteve menor valor de  $\Psi_w$  (-2,21 MPa). Durante a estação seca, ocorreu uma compactação do mesofilo em cerca de 30% para todas as variedades. A taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A_L$ ) apresentou maiores reduções na estação seca, para todas as variedades, com menores médias na variedade RB92579. Por outro lado, a condutância estomática ( $g_s$ ) foi maior na variedade RB855536. A morfologia dos estômatos e sua distribuição nas superfícies epidérmicas diferiu de acordo com a estação, com menor densidade estomática na estação seca em ambas faces. Uma ampla deposição de cera epicuticular sobre o poro estomático parece ser uma das principais características que determinam a menor  $g_s$  no período seco.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp, estresse hídrico, trocas gasosas, anatomia, tolerância à seca.

## ABSTRACT

The increase in demand for production of sugar cane requires greater investment in new generation tolerant varieties to biotic and abiotic stresses, improving conditions for planting, harvesting and productivity. The production of drought tolerant varieties requires a detailed knowledge of Morphophysiological aspects that distinguish between the most viable individuals for planting. This study aimed to evaluate some anatomical aspects, mesophyll thickness, stomatal architecture, epidermal characterization, analysis of gas exchange and leaf water potential between susceptible varieties RB855536 and RB72454 and RB92579 and RB867515 drought tolerant. It was found that the leaf water potential ( $\Psi_w$ ) was lower in the dry season, especially to that measured at noon. The variety RB72454 got smaller value of  $\Psi_w$  (-2.21 MPa). During the dry season, there was a compression of the mesophyll by about 30% for all varieties. The rate of net CO<sub>2</sub> assimilation ( $A_L$ ) showed greater reductions in dry season for all varieties with lower averages in variety RB92579. On the other hand, stomatal conductance ( $g_s$ ) was higher in the range RB855536. The morphology and distribution of stomata in epidermal surfaces differed according to season, with lower stomatal density in the dry season on both side. An extensive deposition of epicuticular wax on the stomatal pore seems to be one of the main characteristics that determine the lowest gas in the dry season.

Key words: *Saccharum* spp, water stress, gas exchange, Anatomy, drought tolerance.

## Índice

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	09
APRESENTAÇÃO .....	10
REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
A cana-de-açúcar: um breve histórico.....	11
Variedades da cana-de-açúcar .....	12
Produção da cana-de-açúcar no Brasil .....	15
O Estresse Hídrico.....	16
Anatomia foliar .....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
RESUMO .....	22
ABSTRACT .....	23
1. Introdução.....	23
2. Material e Métodos.....	25
2.1. Área de estudo e variedades .....	25
2.2. Medidas de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) .....	25
2.3. Medidas de trocas gasosas.....	26
2.4. Estudos anatômicos .....	26
2.5. Dissociação da epiderme foliar .....	26
2.6. Procedimentos estatísticos.....	27
3. Resultados .....	27
4. Discussão.....	29
5. Conclusão .....	31
6. Agradecimentos.....	32
7. Referências Bibliográficas .....	33
Lista de Figuras .....	35
Lista de Tabelas.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$CO_2$	Dióxido de Carbono
$A_L$	Taxa de Assimilação Líquida de $CO_2$
$g_s$	Condutância estomática
$\Psi_w$	Potencial hídrico foliar
$E$	Transpiração
$EU_{Ai}$	Eficiência intrínseca do uso da água
$C_i/C_a$	Razão entre a concentração interna e ambiente de $CO_2$
DPV	Déficit de pressão de vapor
$T_F$	Temperatura foliar
IRGA	Analisador de gases a infravermelho
PLANALSUCAR	Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar do Instituto do Açúcar e do Alcool
RB	República Federativa do Brasil
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar
RIDESA	Rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético

## APRESENTAÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma poacea amplamente conhecida, tendo destaque na agricultura mundial, principalmente pela sua participação na produção de açúcar e álcool. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de açúcar e álcool combustível. Depois de algumas estratégias um tanto quanto questionáveis, a geração de álcool combustível tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar vem, novamente, adquirindo grande destaque socioeconômico mundial, com fortes impactos sobre a balança comercial dos países que a produzem. Isto advém do fato que o combustível gerado a partir da cana-de-açúcar é um combustível renovável, com queima quase que total e com taxas muito baixas de emissão de monóxido de carbono e partículas de enxofre; o que faz do bioetanol um “combustível limpo”. Se considerarmos que do bagaço se pode fazer, ainda, álcool de segunda geração, a partir da hidrólise da celulose com geração de monossacarídeos, mais uma vez a cana-de-açúcar ganha destaque mundial. Em consequência disso, a indústria automotora, incentivada pelos seus países de origem têm promovido um grande aumento na produção de veículos movidos a álcool ou com outras fontes renováveis de combustíveis em detrimento dos veículos automotores movidos exclusivamente a combustíveis fósseis.

Dando respaldo a ampliação na demanda da produção sucroalcooleira, variedades de *Saccharum* spp., estudos visando o melhoramento das variedades têm sido continuamente desenvolvidos e testados com o objetivo de aumentar a produtividade, melhorar a adaptação às variações climáticas e tipos de solos, além de economia de água e de terras, com fortes impactos positivos sobre o meio ambiente. Neste sentido, a produção de variedades tolerantes à seca tem impulsionado a necessidade de mais estudos envolvendo aspectos biológicos, fisiológicos e anatômicos destas variedades.

Assim, a identificação das variações morfofisiológicas nas diferentes variedades tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico de cana-de-açúcar é uma forma de entender como tais modificações têm melhorado o desempenho das novas cultivares, quando se objetiva a melhoria ou a criação de novas variedades tolerantes a seca. Portanto, esse trabalho descreve alguns parâmetros fisiológicos e anatômicos de quatro variedades de cana-de-açúcar sensíveis e tolerantes ao déficit hídrico.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### *A cana-de-açúcar: um breve histórico*

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene pertencente à família Poaceae, tribo Andropogoneae. O gênero *Saccharum* é composto por gramíneas tropicais e subtropicais, muito abundantes em campos do Antigo e Novo Mundo. Várias espécies integrantes da tribo Andropogoneae são cultivadas pelo homem, das quais se destacam, além da cana-de-açúcar, o sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e o milho (*Zea mays* L.) (Daniels e Roach 1987).

A espécie *Saccharum officinarum* L. apresenta raízes fasciculadas que podem atingir até 4 m de profundidade, embora cerca de 80% das raízes se concentrem nos primeiros 20 cm do solo. As folhas são simples, alternadas e formadas por limbo e bainha, ambas ligadas há uma porção internamente membranosa denominada lígula. A bainha, em geral, apresenta na borda a aurícula, com grande presença de pelos. O caule é do tipo colmo e as flores se arranjam em inflorescência denominada panícula (Clayton et al. 2006). A cana é uma planta com metabolismo fotossintético do tipo C4, o qual possui um sistema fotossintético mais eficiente quando comparado às plantas com metabolismo C3; uma vez que podem converter até 2% da energia solar incidente em biomassa (Percy e Ehleringer 1984; Momose et al. 2009). Assim, a cana-de-açúcar constitui-se como uma cultura de alto rendimento de matéria verde, energia e fibras (Sampaio et al. 1995).

A cana-de-açúcar (*S. officinarum*) é uma cultura originária do Sudeste Asiático como também da região leste da Indonésia e Nova Guiné (Daniels e Roach 1987; MozambaniI et al. 2006). Chegou às Américas na segunda viagem de Colombo, por volta de 1494 (Bastos 1987). As primeiras mudas da planta chegaram ao Brasil por volta de 1515, vindas da Ilha da Madeira (Portugal). O primeiro engenho de açúcar foi construído em 1532, na capitania de São Vicente, região atualmente incorporada por parte dos estados de Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. Entretanto, foi na região Nordeste do Brasil, mais especialmente nas capitanias de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram com mais ênfase no período do Brasil-colônia (CIB 2009).

As variedades comerciais de cana-de-açúcar cultivadas atualmente são oriundas de melhoramento genético vegetal, realizados no final do século XIX, entre espécies do gênero *Saccharum* (Matsuoka et al. 1999). Plantas de *S. officinarum* até então cultivadas, foram

cruzadas com outras espécies do gênero, especialmente *S. spontaneum*, com o objetivo de reunir, nos híbridos, a capacidade de armazenamento de sacarose de *S. officinarum* com as características de vigor, rusticidade, resistência a doenças e tolerância a fatores climáticos de *S. spontaneum* (Naidu and Sreenivasan 1987).

As cultivares de *S. officinarum* são geralmente conhecidas como “canas nobres” por serem muito vistosas e possuírem abundante caldo açucarado (Segella 1964; Grivet et al. 2004). Pertencem a esta denominação as variedades antigas de cana-de-açúcar cultivadas em quase todo o mundo até o aparecimento das variedades híbridas (Segella 1964). Já as cultivares de *S. spontaneum* são as chamadas canas selvagens, que apresentam alto polimorfismo, variando de plantas pequenas, do tipo “capim” sem colmos, a plantas com colmos de mais de 5 m de altura (Matsuoka et al. 1999). Estas últimas apresentam alta plasticidade adaptativa, sendo encontradas nas mais diversas condições ambientais. *S. spontaneum* é a espécie que mais contribuiu para o melhoramento das variedades atuais de cana-de-açúcar, com suas características de vigor, dureza, perfilhamento, capacidade de rebrota de soqueira (devido ao rizoma vigoroso) e a resistência a estresses, doenças e pragas (Naidu e Sreenivasan 1987).

### ***Variedades da cana-de-açúcar***

No Brasil, particularmente no Nordeste, destacam-se as variedades do tipo RB (República Federativa do Brasil), lançadas pela RIDESA. Essas variedades RB caracterizam-se pela produtividade e adaptação às condições edafoclimáticas da região Nordeste (RIDESA 2005). Entretanto, a seleção de novas variedades de cana-de-açúcar atualmente é realizada através de programas autóctones de melhoramento genético, *i.e.*, um método mais eficiente de seleção. Com esse método de melhoramento genético, tem-se por meio de cruzamentos genéticos e anos de pesquisa com seleção, experimentação e testes apropriados, a recomendação das variedades apropriadas para os diferentes ambientes de cultivo (Barbosa et al. 2003). Antes do surgimento dessa técnica, a introdução de novas variedades na lavoura canavieira do Brasil era feita exclusivamente através da importação.

Atualmente, mais de 70 cultivares (RIDESA 2005) são híbridos heterozigotos interespecíficos de *S. officinarum* e *S. Spontaneum* (Grivet et al. 1996; Grivet e Arruda 2001). Devido ao processo citogenético complexo, os híbridos têm cerca de 80% do genoma de *S. officinarum* e 10% de o genoma de *S. spontaneum*, sendo os restantes 10% de genoma híbrido

como cromossomas recombinantes (D'Hont et al. 1998; Grivet e Arruda 2001; Cuadrado et al. 2004). Em cana-de-açúcar, a seleção é praticada em todas as fases do melhoramento genético, desde a escolha dos genitores, passando pela escolha dos cruzamentos, pela seleção na população de indivíduos oriundos dos cruzamentos realizados e nas etapas subsequentes com a seleção clonal (Calija et al. 2001). *S. officinarum* transmite alto teor de sacarose e boas características de moagem, enquanto *S. spontaneum* contribui com caracteres fisiológicos que permitem que os híbridos sejam cultivados em diversos ambientes (Tew 1987). A capacidade de se adaptar a ambientes desfavoráveis ao plantio é possível porque *S. spontaneum* é mais diversificada (Jackson 1994), além de contribuir para a adaptação da planta aos estresses abióticos, alto perfilhamento e aumento na produtividade da safra (Legendre e Burner 1995).

As regiões Sudeste e Nordeste do Brasil são as regiões mais produtoras de cana-de-açúcar, destacando-se dentro da região nordeste os Estados de Alagoas e Pernambuco, que juntos representam 71% da produção total da região Nordeste, e 7% da produção nacional (CONAB 2013). Por outro lado, a região Nordeste apresenta baixa produtividade por área plantada comparada às outras regiões do país (CONAB, 2013), o que enfatiza a necessidade de aumento no rendimento da produtividade para esta região. O aumento da produtividade, em geral, é atribuído ao desenvolvimento e uso generalizado de cultivares melhoradas com aumento da resistência a condições de estresse, uma melhor gestão de água e nutrientes, e da disponibilidade de fertilizantes químicos relativamente baratos, além de pesticidas mais eficientes (Lakshmanan et al. 2005). Para obtenção de novas variedades do tipo RB, os cruzamentos entre indivíduos superiores são realizados visando à seleção de genótipos que apresentem características vantajosas em produtividade agroindustrial e tolerância aos principais estresses, *e.g.*, pragas, doenças, seca e salinidade (RIDESA, 2010).

Na década de 1970, o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar do Instituto do Açúcar e do Alcool, PLANALSUCAR, ligado então ao Ministério da Indústria e Comércio foi responsável no Brasil pelo início do melhoramento genético e produção de novas variedades de cana-de-açúcar. Uma das primeiras variedades lançadas e difundidas para o plantio foi a RB72454, onde em 1972 teve-se início da elaboração da variedade. A variedade RB72454 é oriunda do Estado de Pernambuco e foi lançada nacionalmente para o plantio no ano de 1987. Essa variedade é resultado de um policruzamento, da variedade progenitora CP53-76, fecundada com pólen ofertado por diversas outras variedades. Esse cultivar é de boa produtividade agrícola em qualquer tipo de solo, mas seu destaque é maior

em solos de textura leve e em solos menos férteis (RIDESA, 2010). No ano de 2008, o Censo realizado pela Rede Interinstitucional para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) mostrou que a RB72454 ficou em terceiro lugar entre as variedades de cana-de-açúcar cultivadas no país.

A variedade RB867515 foi inicialmente desenvolvida pela PLANALSUCAR, mas com o encerramento do programa, ela só foi lançada oficialmente como variedade comercial em março de 1997 pela RIDESA, que retomou os trabalhos de melhoramento genético e desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, em parceria com a Universidade Federal de Viçosa. A variedade RB867515 resultou de um policruzamento, tendo a variedade RB72454 como progenitora, mas fecundada com pólen de diversas outras variedades (RIDESA, 2010).

A variedade RB855536 é originária do cruzamento entre a variedade SP70-1143 e a RB72454. Tem como aspectos gerais boa formação de touceiras, sendo estas semiabertas, além de colmos eretos, empalhados, com bainhas semiabertas, de fácil despalha. O caule tem diâmetro médio e de cor verde arroxeadada, que se acentua quando expostos. Possui uma produtividade agrícola intermediária entre as demais variedades já descritas com exigência ambiental de plantio de baixa a média e alto teor de sacarose (RIDESA, 2010).

Em 2003, sob a responsabilidade do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar – PMGCA, do Centro de Ciências Agrárias, a Universidade Federal de Alagoas liberou comercialmente a variedade RB92579 para o setor produtivo; sendo esta a primeira variedade obtida e selecionada dentro da logística de uma instituição pública de ensino, pesquisa e extensão. A RB92579 tem como principais características: excelente produtividade agrícola, porte semiereto, com ótimo rendimento por colheita; boa recuperação após períodos de seca; altamente responsiva à irrigação e muito eficiente no uso da água; além de alta eficiência no uso dos principais nutrientes e tolerante em relação ao ataque da broca comum (Simões Neto e Melo 2005; RIDESA, 2010). Além disso, a variedade é resistente a ferrugem marrom e escaldadura das folhas e moderadamente resistente ao *Ustilago scitaminea* Sydow, um dos principais patógenos e causador de grandes perdas para a plantação de cana-de-açúcar (Bergamin Filho e Amorim 2002; Rago et al. 2009).

Desde a sua liberação, a RB92579 vem apresentando expressiva produtividade nas áreas colhidas pelas empresas instaladas na região, com elevação de 30% a 40% quando em comparação a outras variedades que até então eram cultivadas, ou mesmo com produtividade 60% maior quando a comparação se dá com variedades cultivadas há duas décadas (RIDESA,

2010). Para se ter uma ideia da sua produtividade, pode se tomar como exemplo o ocorrido na usina Agrovale, na Bahia, uma área de 60 ha com plantação da variedade RB92579 sob irrigação plena. Na safra de 2008, foram obtidas 260 t/ha, um recorde mundial (RIDESA, 2010). Por este motivo, na safra 2008/2009, a cultivar esteve presente em cerca de 20% da área colhida com cana na região nordeste, de forma que foi responsável por mais de 25% dos açúcares produzidos nesta região, evidenciando assim, alta eficiência no uso da terra. Esta variedade também tem conquistado produtores de outras regiões de produção, como a região centro-sul (RIDESA 2005). A variedade RB92579 resultou de um cruzamento biparental, tendo a variedade RB75126 como progenitora, e a variedade RB72199 como doadora de pólen. Ela apresenta como características alto perfilhamento em planta e soca, floresce raramente e tem uma lenta velocidade de crescimento. Possui alta produtividade agrícola a partir do desenvolvimento das quatro primeiras folhas. Verifica-se alto teor de açúcares totais e épocas de plantio de julho a janeiro, sem restrição a ambientes para produção. É considerada tolerante à seca e a herbicidas (RIDESA 2005).

### ***Produção da cana-de-açúcar no Brasil***

O açúcar e o álcool são os principais produtos da cana-de-açúcar. Tais produtos têm destaque principalmente no cenário econômico e social brasileiro, com fortes impactos sobre a balança comercial do Brasil, visto que é um dos seus principais produtos de exportação (Brockmeyer e Spitzzy 2011; Jena e Poggi 2013). Esse bom desempenho da cana-de-açúcar está relacionado aos programas de melhoramento que desenvolveram variedades que são bem adaptadas às diversas regiões do Brasil (Rosse et al. 2002).

No final do século XX, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e dos seus produtos derivados, açúcar e álcool (Basaldi et al. 1996). Essa liderança foi atingida principalmente em função da criação em 1975 do Proálcool (LEITE 1987). Para se ter uma ideia, basta lembrar que na safra 2011/2012, o cultivo de cana-de-açúcar foi na ordem de 8 mil hectares plantados, produzindo mais de 570 mil toneladas de cana por ano, com uma produtividade maior que 70 toneladas por hectare (Alcopar. 2013). Estima-se que a produção de cana-de-açúcar na safra 2013/2014 seja da ordem de 652 mil toneladas, com cerca de 9 mil hectares plantados, com uma produtividade maior que 77 t/ha (Alcopar. 2013). Dessa forma, o Brasil consolida-se como o maior produtor e exportador de cana-de-açúcar e etanol do

mundo (Silva et al. 2012) além de ter sido o primeiro país a implantar, em larga escala, um biocombustível renovável alternativo ao petróleo (UNICA 2008; Alcopar 2013).

O aumento na produtividade no Nordeste vem sendo assegurado pela incorporação das variedades obtidas por meio do PGMCA-RIDESA. Na primeira década deste século algumas dessas variedades vêm se destacando no Nordeste, todas oriundas da RIDESA, entre elas a alagoana RB92579 e a mineira RB867515. Nos Estados de Pernambuco e Alagoas, essas variedades já ocupam, respectivamente, cerca de 60% e 40% da área plantada com cana-de-açúcar naqueles estados (PMGCA, 2008). A variedade RB92579 é uma das 20 mais plantadas na Região Centro-Sul; no Nordeste ela responde por 30% da área plantada (RIDESA, 2010). A principal característica dessas novas variedades está relacionada à maior tolerância à seca, um problema característico da região Nordeste. Essa variedade tem se mostrado capaz de elevar a produtividade por hectare em 20% nestas regiões, além de gerar uma cana com um teor de açúcar 30% maior (CPTEC/INPE 2008).

### ***O Estresse Hídrico***

Estresses, em geral, podem ser definidos como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresenta a tendência de inibir o funcionamento normal dos sistemas biológicos (Niu et al. 1995). São classificados em bióticos e abióticos, sendo a seca – um fenômeno abiótico – uma das condições mais severas para o crescimento dos vegetais (Manavalan et al. 2009). A restrição na disponibilidade de água acarreta uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares em todos os órgãos da planta afetando negativamente o crescimento e a produtividade (Wang et al. 2001). O entendimento dos mecanismos que as plantas utilizam para tolerar à seca é fundamental para o desenvolvimento e aprimoramento de cultivares tolerantes.

Nas condições de seca, a disponibilidade de água no solo e a pressão de vapor na atmosfera são, sem dúvida, os fatores dominantes (Streck 2004; Fairless 2007). Uma diminuição no potencial hídrico do solo ou um aumento no déficit de pressão de vapor atmosférico induz uma cascata de sinais que provoca uma redução do potencial hídrico da planta, levando a uma diminuição da condutância estomática através de mecanismos físicos precisos, *e.g.*, fechamento estomático (Buckley 2005; Peak e Mott 2011).

A fotossíntese é um dos processos metabólicos mais afetados pela restrição hídrica (Liu e Huang 2008), sendo que a diminuição nas taxas de difusão de CO<sub>2</sub> da atmosfera para o

sítio de carboxilação da ribulose 1-5 bisfosfato (Rubisco) considerada a principal causa da diminuição da fotossíntese em plantas que estão sob déficit hídrico, mesmo que moderado (Flexas et al. 2004). Assim, quando se pretende investigar a capacidade de tolerância ou sensibilidade de uma planta ao estresse hídrico é a fotossíntese seu alvo principal.

### ***Anatomia foliar***

As folhas são os principais órgãos de assimilação de carbono da maioria das plantas superiores (Cutler et al. 2007). A anatomia e morfologia foliar variam de acordo com o tipo de ambiente em que a planta é adaptada.

A cutícula consiste de uma camada de natureza hidrofóbica que cobre toda a epiderme da parte aérea do corpo primário do vegetal. Ela atua selando todas as células epidérmicas, sejam células ordinárias da epiderme, tricomas ou células guarda (Samuels et al. 2008). A camada cuticular pode variar amplamente em sua ultraestrutura (Samuels et al. 2008) e na quantidade de cutícula depositada nas folhas (Eglinton e Hamilton 1967).

A cutícula consiste de dois tipos de substâncias lipofílicas: cutina e ceras cuticulares (intracuticulares ou extracuticulares). Essas ceras podem cristalizar e extravasar para fora da cutícula dando à superfície um aspecto granuloso ou ornamentado (Post-Beittenmiller 1996)

Estômatos são estruturas presentes na epiderme de órgãos aéreos fotossintetizantes e de crescimento primário, como folhas e caules jovens (Evert 2006). A sua principal função é a troca gasosa com o meio durante a fotossíntese (absorção de CO<sub>2</sub> e liberação de O<sub>2</sub>) e manutenção da temperatura das folhas com o processo de transpiração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcopar. (2013). "Estatísticas: histórico de produção da cana-de-açúcar no Brasil e no Paraná." Retrieved junho, 2013, from [www.alcopar.org.br](http://www.alcopar.org.br).
- Barbosa, G. V. S., A. J. R. Souza, A. M. C. Rocha, A. V. P. Santos, C. A. G. Ribeiro, E. J. S. Barreto, G. Moura Filho, J. L. Souza, J. L. C. Ferreira, L. Soares, M. M. Cruz, P. V. Ferreira and W. C. M. Silva, 2003: Três novas variedades RB de cana-de-açúcar. In: U. F. d. Alagoas ed., pp. 16. Rio Largo.
- Basaldi, O. V., C. A. C. Farias and R. Novaes Filho, 1996: Considerações sobre a dinâmica recente do complexo sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, **26**, 21-29.
- Bastos, E., 1987: Cana de açúcar, o verde mar de energia. Editora Ícone, São Paulo.
- Bergamin Filho, A. and L. Amorim, 2002: Doenças com período de incubação variável em função da fenologia do hospedeiro. *Fitoopatol. bras.* **27**, 561-565.
- Brockmeyer, B. and A. Spitzky, 2011: Effects of sugar cane monocultures on origin and characteristics of dissolved organic matter in the Manguaba lagoon in northeast Brazil. *Org Geochem* **42**, 74-83.
- Buckley, T. N., 2005: The control of stomata by water balance. *New Phytol* **168**, 275–292.
- Calija, V., A. J. Higgins, P. A. Jackson, L. M. Bieling and D. Coomans, 2001: An operations research approach to the problem of the sugarcane selection. *Ann Oper Res* **108**, 123-142.
- CIB. (2009). "CANA-DE-AÇÚCAR - AVANÇO CIENTÍFICO BENEFICIA O PAÍS." Retrieved 20 julho, 2013, from [http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia\\_cana.pdf](http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf).
- Clayton, W. D., M. S. Vorontsova, K. T. Harman and H. Williamson, 2006: GrassBase - The Online World Grass Flora. <http://www.kew.org/data/grasses-db/www/imp09052.htm>.
- CONAB, C. N. d. A. (2013). from [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_08\\_21\\_17\\_40\\_12\\_canaseriehist.xls](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_21_17_40_12_canaseriehist.xls).
- CPTEC/INPE. (2008). "Cana mais produtiva e resistente a seca para o Nordeste brasileiro.", 2013. , from <http://www7.cptec.inpe.br/noticias/faces/impressao.jsp?idConsulta=9339&idQuadros>.
- Cuadrado, A., R. Acevedo, M. D. Espina, N. Jouve and C. d. I. Torre, 2004: Genome remodelling in three modern *S. officinarum* x *S. spontaneum* sugarcane cultivars. *J Exp Bot* **55**, 847–854.
- Cutler, D. F., C. E. J. Botha and D. W. Stevenson, 2007: *Plant Anatomy: An Applied Approach*. Blackwell Publishing, Oxford.
- D'Hont, A., D. Ison, K. Alix, C. Roux and J. C. Glaszmann, 1998: Determination of basic chromosome numbers in the genus *Saccharum* by physical mapping of ribosomal RNA genes. *Genome Biol* **41**, 221–225.
- Daniels, J. and B. T. Roach, 1987: Sugarcane improvement through breeding. In: E. Sci ed. *Taxonomy and evolution*. pp. 84 Amisterdam.
- Eglinton, G. and R. J. Hamilton, 1967: Leaf epicuticular waxes. *Science* **156**, 1322-1335.
- Evert, R. F., 2006: *Esau's Plant Anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body - their structure, function, and development*. 3<sup>rd</sup> edition. Wiley-Interscience, New Jersey.
- Fairless, D., 2007: The little shrub that could - maybe. *Nature* **449**, 652-655.
- Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic and T. Sharkey, 2004: Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biol* **6**, 269–279.
- Grivet, L. and P. Arruda, 2001: Sugarcane genomics: depicting the complex genome of an important tropical crop. *Curr Opin Plant Biol* **5**, 122–127.
- Grivet, L., A. D'Hont, D. Roques, P. Feldmann, C. Lanaud and J. C. Glaszmann, 1996: RFLP mapping in cultivated Sugarcane (*Saccharum* spp.): genome organization in a highly polyploid and aneuploid interspecific hybrid. *Genetics* **142**, 987-1000.

- Grivet, L., A. D'Hont, D. Roques, P. Feldmann, C. Lanaud and J. C. Glaszmann, 2004: A review of recent molecular genetics evidence for sugarcane evolution and domestication. *Ethnobot Res Appl* **2**, 9-17.
- Jackson, J., 1994: Genetic relationship between attributes in sugar cane clones related to *Saccharum spontaneum*. *Euphytica* **79**, 101–108.
- Jena, S. D. and M. Poggi, 2013: Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed interger programming. *Eur J Oper Res* **230**, 374-384.
- Lakshmanan, P., R. J. Geijskes, K. S. Aitken, C. L. P. Grof, G. D. Bonnett and G. R. Smith, 2005: Sugarcane biotechnology: the challenges and opportunities. *In Vitro Cell Dev Biol Plant* **41**, 345–363.
- Legendre, B. L. and D. M. Burner, 1995: Biomass production of sugarcane cultivars and early-generation hybrids. *Biomass Bioenerg* **8**, 55–61.
- LEITE, R. C. C., 1987: Pró-álcool: a única alternativa para o futuro, Campinas.
- Liu, X. and B. Huang, 2008: Photosynthetic acclimation to high temperatures associated with heat tolerance in creeping bentgrass. *Journal of Plant Physiol* **165**, 1947–1953.
- Manavalan, L. P., S. K. Guttikonda, L. P. Tran and H. T. Nguyen, 2009: Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant Cell Physiol* **50**, 1260-1276.
- Matsuoka, S., A. A. F. Garcia and H. Arizono, 1999: Melhoramento da Cana-de-açúcar. In: E. d. U. F. d. Viçosa ed. *Melhoramento de Espécies Cultivadas*. pp. 205-252. Viçosa.
- Momose, A., N. Ohtake, K. Sueyoshi, T. Sato, Y. Nakanishi, S. Akao and T. Ohyama, 2009: Nitrogen fixation and translocation in young sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plants associated with endophytic nitrogen-fixing bacteria. *Microbes Environ* **24**, 224-230.
- Mozambanil, A. E., A. d. S. Pinto, S. V. Segato and F. M. Mattiuz, 2006: História e morfologia da cana-de-açúcar *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. pp. 415. Piracicaba - SP.
- Naidu, K. M. and T. V. Sreenivasan, 1987: Conservation of sugarcane germplasm. *COOPERSUCAR INTERNATIONAL BREEDING WORKSHOP: COOPERSUCAR TECHNOLOGY CENTER*. pp. 33. Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, Piracicaba.
- Niu, X., R. A. Bressan, P. M. Hasegawa and J. Pardo, 1995: Ion Homeostasis in NaCl Stress Environments. *Plant Physiology* **109**, 735-742.
- Peak, D. and K. A. Mott, 2011: A new, vapour-phase mechanism for stomatal responses to humidity and temperature. *Plant, Cell & Environment* **34**, 162–178.
- Pearcy, R. W. and J. Ehleringer, 1984: Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant Cell Environ* **7**, 1-13.
- Post-Beittenmiller, D., 1996: Biochemistry and molecular biology of wax production in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **47**, p. 405–430.
- Rago, A. M., M. V. Casagrande and N. S. Massola Junior, 2009: Variabilidade patogênica de *Ustilago scitaminea* no estado de São Paulo. *Summa Phytopath* **35**, 93-97.
- RIDESA, R. I. p. o. D. d. S. S., 2005: Lançamento de novas variedades de cana-de-açúcar. . Imprensa Universitária da UFRPE, Recife.
- Rosse, L. N., R. Vencovsky and A. Ferreira, 2002: Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar. . *Pesq Agropec Bras* **37**, 25-32.
- Sampaio, E. V. S. B., I. H. Salcedo, V. M. Silva and G. D. Alves, 1995: Capacidade de suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco. *Rev Bras Ciênc Solo* **20**, 269-279.
- Samuels, L., L. Kunst and R. Jetter, 2008: Sealing plant surfaces: Cuticular wax formation by epidermal cells. *Annu Rev Plant Biol* **59**, 683-707.
- Segella, A. L., 1964: Botânica melhoramento e variedades. In: M. e. al. ed. *Cultura e adubação da cana-de-açúcar*. pp. 61-98. Instituto Brasileiro de Potassa São Paulo.
- Silva, P. P., L. Soares, J. G. Costa, L. S. Viana, C. F. Andrade, V. X. Nascimento, A. R. Todaro, A. Riffel, M. F. Grossi-de-Sa, M. H. P. Barbosa, A. E. G. Sant'Ana and C. E. Ramalho Neto, 2012: Path

- analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. *Indus Crops And Prod* **37**, 11-19.
- Simões Neto, D. E. and L. J. O. T. Melo, 2005: Lançamentos de novas variedades RB de cana-de-açúcar. In: UFRPE ed. Imprensa Universitária, Recife.
- Streck, N. A., 2004: Do we know how plants sense a drying soil? *Ciência Rural* **34**, 581-584.
- Tew, T. L., 1987: Sugarcane improvement through breeding. In: H. D ed. *New cultivars*. pp. 559–594. Elsevier, Amsterdam.
- UNICA, U. d. A. C. d. S. P. 2008: from <http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=ref>.
- Wang, W. X., B. Vinocur, R. C. Shoemaker and A. Altman, 2001: Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular consideration. *Acta Horti* **560**.

**Manuscrito a ser submetido a revista Journal of  
Agronomy and Crop Science como pré-requisito para  
obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal**

# Morfologia epidérmica e trocas gasosas em variedades de cana-de-açúcar com diferentes graus de tolerância à deficiência hídrica

Lumena F. Duda<sup>1</sup>; Ana C. B. Pinho-Pessoa<sup>1</sup>; Tiago C. dos Santos<sup>2</sup>; Laurício Endres<sup>2</sup>; Ana Paula S. Lacchia<sup>3</sup>; Marcelo F. Pompelli<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, CCB, Recife, PE, Brasil, 50670-901

<sup>2</sup> Laboratório de Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil

<sup>3</sup> Laboratório de Biologia Vegetal, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil

\*Autor para correspondência: Tel +55 81 2126 8844; Fax +55 81 2126 7803. Email: mfpompelli@gmail.com

## RESUMO

O aumento na demanda por produção de cana-de-açúcar exige maior investimento na geração de novas variedades tolerantes aos estresses bióticos e abióticos, melhorando as condições de plantio, colheita e produtividade. A produção de variedades tolerantes à seca exige o conhecimento detalhado dos aspectos morfofisiológicos que distinguem entre os indivíduos mais vantajosos para o plantio. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar alguns aspectos anatômicos, espessura do mesofilo, arquitetura estomática, caracterização epidérmica, análises de trocas gasosas e potencial hídrico foliar entre as variedades sensíveis RB855536 e RB72454 e as tolerantes RB867515 e RB92579 ao déficit hídrico. Verificou-se que o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi menor na estação seca, em especial àquele medido ao meio dia. A variedade RB72454 obteve menor valor de  $\Psi_w$  (-2,21 MPa). Durante a estação seca, ocorreu uma compactação do mesofilo em cerca de 30% para todas as variedades. A taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A_L$ ) apresentou maiores reduções na estação seca, para todas as variedades, com menores médias na variedade RB92579. Por outro lado, a condutância estomática ( $g_s$ ) foi maior na variedade RB855536. A morfologia dos estômatos e sua distribuição nas superfícies epidérmicas diferiu de acordo com a estação, com menor densidade estomática na estação seca em ambas faces. Uma ampla deposição de cera epicuticular sobre o poro estomático parece ser uma das principais características que determinam a menor  $g_s$  no período seco.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp, estresse hídrico, trocas gasosas, anatomia, tolerância à seca.

## ABSTRACT

The increase in demand for production of sugar cane requires greater investment in new generation tolerant varieties to biotic and abiotic stresses, improving conditions for planting, harvesting and productivity. The production of drought tolerant varieties requires a detailed knowledge of Morphophysiological aspects that distinguish between the most viable individuals for planting. This study aimed to evaluate some anatomical aspects, mesophyll thickness, stomatal architecture, epidermal characterization, analysis of gas exchange and leaf water potential between susceptible varieties RB855536 and RB72454 and RB92579 and RB867515 drought tolerant. It was found that the leaf water potential ( $\Psi_w$ ) was lower in the dry season, especially to that measured at noon. The variety RB72454 got smaller value of  $\Psi_w$  (-2.21 MPa). During the dry season, there was a compression of the mesophyll by about 30% for all varieties. The rate of net  $\text{CO}_2$  assimilation ( $A_L$ ) showed greater reductions in dry season for all varieties with lower averages in variety RB92579. On the other hand, stomatal conductance ( $g_s$ ) was higher in the range RB855536. The morphology and distribution of stomata in epidermal surfaces differed according to season, with lower stomatal density in the dry season on both side. An extensive deposition of epicuticular wax on the stomatal pore seems to be one of the main characteristics that determine the lowest gas in the dry season.

Key words: *Saccharum* spp, water stress, gas exchange, Anatomy, drought tolerance.

## 1. Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar com consequente produção de açúcar e álcool combustível (Goldemberg et al. 2003; Jagger 2013). A geração de combustível tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar vem adquirindo grande destaque socioeconômico mundial, com fortes impactos sobre a balança comercial dos países que a produzem. O Brasil desponta como líder mundial em exportações de açúcar e na utilização desta planta como fonte de energia renovável (Oliveira et al. 2007). Por exemplo, a safra 2013/2014 foi estimada em 650 mil toneladas de cana com mais de 8,7 milhões de hectares plantados; equivalentes a uma produtividade maior que 77 toneladas por hectare (CONAB 2013; Alcopar 2013). A produtividade da cana, assim como qualquer outra planta, é definida principalmente pela atividade fotossintética das folhas que determinam a quantidade de

fotoassimilados translocados para os órgãos dreno como o caule. Assim, o acúmulo de açúcar no caule é proporcional à atividade fotossintética (Dunford 2010). Portanto, qualquer desvio na rota metabólica considerada normal, principalmente durante o período de crescimento rápido, pode diminuir drasticamente o rendimento da cana-de-açúcar, bem como afetar seu potencial de rebrota e a longevidade em campo (Castro et al. 2002).

Para ocupar novas áreas de plantio, a cultura deve manter ou ampliar sua capacidade produtiva. Entretanto, fatores ambientais podem influenciar negativamente no rendimento da lavoura canavieira. Entre estes, a deficiência hídrica é considerada como o principal limitante ambiental à produção de cana-de-açúcar (Silva et al. 2012), uma vez que causa grandes danos aos processos fisiológicos e metabólicos dos vegetais, acarretando em significativas reduções na produtividade das plantações (Hsiao 1973; Chakraborty et al. 2002). Assim, um bom entendimento de como as culturas respondem ao estresse hídrico é um pré-requisito para a escolha da melhor cultivar e das práticas de gestão para explorar ao máximo os recursos naturais (Smit e Singels 2006).

A capacidade da planta em manter os processos fisiológicos importantes durante o estresse hídrico, especialmente nas fases consideradas críticas, é uma ferramenta que permite indicar mecanismos potenciais para aumento da produtividade (Silva et al. 2007). Visto que a produtividade da cana-de-açúcar é afetada em grande parte pela fotossíntese, a identificação das variáveis fotossinteticamente mais eficientes sob condições de estresse hídrico é de extrema importância quando se objetiva a seleção e a indicação de genótipos com elevada capacidade de tolerância sistêmica ao déficit hídrico imposto por tais ambientes de cultivo (Silva et al. 2012).

Dando respaldo à ampliação na demanda da produção sucroalcooleira, novas variedades de *Saccharum* são amplamente utilizadas para produção de açúcar e álcool, sendo utilizadas pela indústria sucroalcooleira. O melhoramento genético das variedades de cana-de-açúcar, visa continuamente o aumento da produtividade, a melhoria na adaptação às variações climáticas e tipos de solos, como também a economia de água e de terras, com fortes impactos positivos sobre o meio ambiente. Neste sentido, a produção de variedades tolerantes à seca tem impulsionado a necessidade de estudos envolvendo aspectos biológicos, fisiológicos e anatômicos destas variedades. Assim, a identificação das variações morfofisiológicas, que nos possibilitam identificar as diferenças correlacionadas com os mecanismos de fotossíntese, condutância estomática e elevação hidráulica nas diferentes variedades tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico de cana-de-açúcar, é uma forma de

entender como tais modificações tem melhorado o desempenho das novas variedades tolerantes à seca.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo e variedades

O trabalho foi realizado na Fazenda Santa Isabel, (9°46'46.74" S, 36°21'1.51"W; 130 m. asl.) no município de Campo Alegre, Estado de Alagoas, durante o período de junho a dezembro de 2012. A precipitação média anual da região é de 808 mm, sendo julho o mês mais chuvoso (138 mm) e dezembro o mês mais seco (9,58 mm) (Sudene 2014). Os dados de precipitação e temperatura do ar durante o período de experimento foram obtidos na Estação Meteorológica de Campo Alegre - AL (9°48'09" S, 36°13'07" W, 138 m.a.s.l.).

As variedades tolerantes ao déficit hídrico RB92579 e RB867515 e as variedades sensíveis RB855536 e RB72454 foram plantadas na Fazenda Santa Isabel, numa área de cultivo comercial de cerca de 38 x 30 m onde foram instalados oito parcelas amostrais, cada uma apresentando 8 m de comprimento por 5 metros de largura (Fig. 1). As plantas foram cultivadas com todos os tratamentos culturais adequados para a cultura. Plantas adultas de cana-de-açúcar (*S. officinarum*) obtidas a partir de cana-soca, *i.e.*, cana-de-açúcar proveniente do segundo ano de produção do mesmo indivíduo, foram aleatoriamente selecionadas para este estudo. As principais características das variedades tolerantes são: RB92579 alta produtividade agrícola, RB867515 melhor desempenho em solos de textura leve, enquanto que as variedades sensíveis apresentam como característica principal: RB72454 boa produtividade agrícola, RB855536 produtividade agrícola intermediária.

### 2.2. Medidas de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

Dez plantas de cada variedade foram selecionadas para este estudo. Medidas de  $\Psi_w$  foram realizadas com o auxílio de uma câmara de pressão do tipo Scholander (Scholander et al. 1965). A mensuração foi realizada na antemã (4:00) e ao meio-dia (12:00) utilizando-se da folha +3 (terceira folha mais jovem, completamente expandida) de cada variedade.

### **2.3. Medidas de trocas gasosas**

A partir de um analisador de gases a infravermelho (IRGA) modelo Licor 6400 (LiCOR, Lincoln, NE, USA) foram coletados os parâmetros fisiológicos [*i.e.* taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_L$ ), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs), eficiência intrínseca do uso da água ( $EUA_i$ ) e temperatura foliar ( $T_F$ )]. As análises foram processadas na folha +3 nos horários de 8:00 e 12:00 h, utilizando-se de 10 repetições por variedade [detalhes da técnica são descritos em Pompelli et al. (2010)].

### **2.4. Estudos anatômicos**

Amostras de folhas foram coletadas e fixadas em FAA<sub>50</sub> por 24 horas e posteriormente estocadas em etanol 70% (Johansen 1940). As amostras foram incluídas em resina plástica (glicol metacrilato) (Gerrits e Smid 1983) e seccionadas em microtomo rotativo, Leica modelo RM2125RTS com secções de 12 à 18 µm. As secções foram coradas com Azul de Toluidina (O'Brien et al. 1965) e registros fotográficos foram obtidos a partir de um fotomicroscópio óptico (modelo BX51, Olympus, Câmera DP71, USA).

Para uma análise mais detalhada da epiderme foliar, amostras de folha das variedades estudadas foram desidratadas em série etanólica (10-100%), submetidas ao ponto crítico com gás carbônico (CPD 030, Balzer), montadas em suportes metálicos (*stubs*) e metalizadas com ouro, para a análise no microscópio eletrônico de varredura (Jeol –JSM – 5800 LV).

### **2.5. Dissociação da epiderme foliar**

Amostras de epiderme foliar das variedades estudadas foram submetidas à solução de dissociação de Franklin (Franklin, 1945), numa proporção de 1:1 de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial. Os materiais foram mantidos na solução de dissociação por 12 horas em estufa a 41°C. Após esse período, o material foi lavado em água destilada até a completa remoção da solução de dissociação. Essas amostras foram, então, coradas com safranina 1%

em etanol 50% e montadas em lâminas semipermanentes com glicerina 50% (Kraus and Arduin 1997).

Para a contagem de estômatos foram obtidas imagens em fotomicroscópio (modelo DM500, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA) com o aumento de 40x. Para cada estação seca ou chuvosa e para cada variedade, tomou-se 20 fotos tanto da superfície abaxial quanto adaxial da epiderme. O número de estômatos em cada fotomicrografia foi contado com o auxílio do software Image J versão 1.46. O número de estômatos por campo foi, então, convertido para estômatos por  $\text{mm}^2$  conforme descrito em detalhes em Pompelli et al. (2010).

## ***2.6. Procedimentos estatísticos***

Os dados foram normalizados pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro and Wilk 1965) e o teste de Brown-Forsyth usado para igualar as variâncias (Brown and Forsyth 1974). Na sequência, os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as médias foram contrastadas pelo teste de Student Newman Keul's ou teste t com nível de significância de 5%.

## **3. Resultados**

Independente do horário analisado, o  $\Psi_w$  foi mais negativo nas plantas analisadas durante a estação seca quando comparado aos obtidos na estação chuvosa (Fig. 2). O menor  $\Psi_w$  (-2,21 MPa) foi medido na variedade RB72454 durante a estação seca, das 12 horas sendo mais elevado na antemanhã, relacionado ao  $\Psi_w$  do solo. Em todas as variedades analisadas o  $\Psi_w$  medido na estação seca no horário do meio dia apresentou uma redução superior a 30% quando comparados com as medidas na estação chuvosa. A variedade RB72454, variedade sensível ao déficit hídrico, destacou-se por apresentar uma redução de cerca de 54% no potencial hídrico na estação seca em relação à estação chuvosa (Fig. 2).

Os valores de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A_L$ ; Fig. 3) não diferiram para o horário das 8 horas nas duas estações. Dentre as quatro variedades, a RB72454 se destacou por apresentar os maiores valores líquidos de  $A_L$ , especialmente aqueles medidos ao meio dia, tanto na estação chuvosa quando seca, diferindo significativamente ( $p \leq 0,001$ ) das outras variedades.

Por outro lado, a variedade RB92579, mesmo sendo considerada uma variedade tolerante ao déficit hídrico, apresentou uma redução na  $A_L$  de 85% da estação chuvosa para seca no horário das 12 h (Fig. 3).

As variedades tolerantes RB92579 e RB867515 mostraram uma taxa de transpiração ( $E$ ) significativamente inferior àquela evidenciada pelas variedades sensíveis RB855536 e RB72454, principalmente na estação seca no horário do meio dia ( $p \leq 0,001$ ) (Fig. 3). Na estação chuvosa não se verificou mudanças significativas em  $E$ . Em geral, a condutância estomática medida na estação seca, ao meio dia, apresentou uma redução superior a 71% (Fig. 3). Destaca-se a variedade RB867515 que, mesmo sendo considerada tolerante ao déficit hídrico, apresentou redução de 51%. Essa queda de  $g_s$  parece ter afetado a  $A_L$  que consequentemente apresentou redução de cerca de 66%, para todas as variedades, comparadas com o mesmo horário na estação chuvosa (Fig. 3), fato corroborado pela forte correlação ( $r = 0,964$ ;  $p \leq 0,001$ ) entre estas duas características. A variedade sensível RB855536, apresentou dentro da estação seca, no horário das 8 horas diferença significativa na  $g_s$  ( $p \leq 0,005$ ) quando comparada às outras variedades. Por outro lado, a variedade tolerante RB92579, apresentou uma redução na  $g_s$  de 65% na estação seca quando em comparação a estação chuvosa (Fig.3). Independente da estação avaliada a  $g_s$  da variedade RB867515 foi sempre inferior às demais variedades analisadas, com redução de 83% da estação chuvosa para a seca (Fig. 3).

Tanto a espessura foliar (Tab. 1; Fig. 4-5), a presença de estômatos em depressões (Fig. 4F-G e 5G-H) e a compactação dos tecidos foliares foi maior na estação seca (*i.e.* redução de 30%) quando em comparação a estação chuvosa em todas as variedades estudadas.

Em relação à morfologia epidérmica, verificou-se uma significativa diferença ( $p \leq 0,005$ ) na densidade estomática entre as estações para todas as variedades, bem como entre as duas faces da epiderme. Independente da variedade e da estação, a superfície abaxial apresentou uma maior densidade estomática quando em comparação a superfície adaxial (Tab. 1, Fig. 6-7). Com exceção da variedade RB855536, o grau de abertura estomática foi sensivelmente maior na estação chuvosa em comparação a estação seca (Tab. 1). Nestes últimos houve ainda um visual incremento de ceras epicuticulares sobre o poro estomático (Fig. 8-15). As variedades tolerantes RB92579 e RB867515 apresentaram um grau de abertura estomática maior na estação chuvosa quando em comparação à estação seca, independente da face da epiderme avaliada. Por outro lado, os estômatos da face adaxial da

variedade RB855536 apresentam um grau de abertura maior na estação seca, mesmo que na face abaxial este valor tenha sido maior na estação chuvosa. A variedade RB72454 não apresentou diferença significativa quanto ao grau de abertura estomática em ambas as faces da epiderme, independente da estação avaliada (Tab. 1).

A temperatura foliar acompanhou o mesmo comportamento que a  $E$ , onde as variedades tolerantes, por transpirem menos, apresentaram uma temperatura foliar maior, na seca e ao meio dia; fato significativamente corroborado pela correlação negativa ( $r = -0,366$ ;  $p = 0,003$ ) entre estes dois fatores. Não obstante, quando a análise se dá somente entre as plantas tolerantes à seca, a correlação é maior ( $r = -0,518$ ;  $p = 0,002$ ), porém quando a análise se dá somente entre as variedades sensíveis não se observou significância ( $p = 0,260$ ).

Os maiores valores de temperatura foliar foram observados no período caracterizado como estação seca, tanto no horário das oito horas como ao meio dia ( $p \leq 0,001$ ) (Fig.3). A temperatura do ar no dia da coleta em julho de 2012 foi de 25,6°C, registrado às 8 horas da manhã. Neste mesmo momento a umidade relativa do ar era de 65% e o déficit de pressão de vapor (DPV) de 1,15 kPa. Por outro lado, às 12:00 horas a temperatura do ar foi de 28,4°C, umidade relativa de 57% e DPV de 1,67 kPa. A temperatura no dia de coleta em dezembro de 2012 foi de 26,3°C, e umidade relativa de 59% e DPV de 1,40 kPa; todos estes últimos registrados às 8 horas da manhã.

#### 4. Discussão

Sabe-se, que as variáveis de trocas gasosas e a ecofisiologia das plantas têm uma boa correlação entre si, podendo auxiliar na identificação de genótipos com características de tolerância à seca (Endres et al., 2010; Silva et al., 2007). O  $\Psi_w$  foliar, especificamente o  $\Psi_w$  médio na antemanha está diretamente relacionado com o potencial hídrico do solo, que em períodos de seca leva a uma redução do potencial hídrico da planta, podendo levar, indiretamente a uma diminuição da condutância estomática (Buckley 2005; Peak e Mott 2011). O  $\Psi_w$  de antemanha é uma ferramenta utilizada para se avaliar a capacidade de recuperação do potencial de água após um período de estresse. Por outro lado, quanto se objetiva uma comparação entre diferentes tratamentos numa mesma condição estressante, o  $\Psi_w$  medido ao meio dia pode ser mais interessante que aquele medido na antemanha (Catsky

1974; Streck 2004). Os dados do presente trabalho corroboram essa ideia, uma vez que as diferenças entre as variedades e estações, foram melhor compreendidas quando às medições foram realizadas ao meio-dia.

Neste trabalho, verificou-se uma redução em  $g_s$  na estação seca, quando em comparação aos dados apresentados durante a estação chuvosa. Percebe-se, que a variedade tolerante RB867515 apresentou redução de 83% com consequente queda de  $A_L$  da ordem de 84%. Entretanto, este resultado difere do obtido por Silva et al. (2012) onde, em experimento de déficit hídrico, em condições de casa de vegetação, verificou que essa mesma variedade apresentou menores reduções no desempenho fotossintético. Entretanto, sabe-se que experimentos de casa de vegetação não são bons exemplos para se comparar a fisiologia de plantas em campo, uma vez que nestas últimas há outros fatores abióticos não controlados, bem como a fisiologia da planta em campo é, por vezes, sensivelmente diferente daquela desenvolvida em casa de vegetação.

Assim, é possível que a menor condutância estomática das variedades tolerantes se deva não somente ao menor grau de abertura estomática nestas variedades, mas também pela notável deposição de ceras ao redor e sobre o poro estomático, sensivelmente maior nas variedades tolerantes em comparação as variedades sensíveis. Elham et al. (2012), trabalhando com diferentes variedades de trigo tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico verificou que as variedades tolerantes apresentam maior deposição de ceras epicuticulares sobre os estômatos do que as variedades sensíveis, fato que corrobora com os dados apresentados nestes estudos com cana-de-açúcar. Estudos com *Nicotiana glauca* (Cameron et al. 2006), *Carex hirta* (Molina et al. 2006), *Agathis robusta* (Mohammadian et al. 2007), *Picea pungens* (Reicosky e Hanover 1978), também comprovam a influência da deposição de cera sobre o poro estomático na fisiologia das plantas.

Cumprе ressaltar, que não se pode atribuir a menor condutância estomática apresentada pelas variedades tolerantes às menores taxas fotossintéticas, uma vez que a razão  $C_i:C_a$  foi sempre maior do que 0,5 e levemente mais elevada nestas duas variedades. Evidências circunstanciais de que as menores taxas fotossintéticas verificadas nas variedades tolerantes possam não estar exclusivamente atrelada aos estômatos, mas talvez a maior espessura foliar, cerca de 30%, nas variedades tolerantes em comparação as variedades sensíveis. Smit e Singels (2006), entretanto, notaram sensíveis reduções na condutância estomática em duas variedades de cana-de-açúcar e descreveram que essa variável é mais sensível que o  $\Psi_w$  na medida em que o solo se torna mais seco.

A menor taxa de transpiração nas variedades tolerantes pode ter sido causada pela presença de células buliformes na face adaxial da epiderme (Fig. 4 e 5) em comparação às variedades sensíveis. Células buliformes maiores e em maior quantidade facilitam o enrolamento das folhas (Melo et al. 2007), permitindo que a superfície abaxial, mais pilosa, reflexiva e com mais estômatos, se torne voltada para o sol (Fahn 1990; Haberlandt 1990; Woodman and Fernandes 1991; Gutschick 1999; Kadioglu et al. 2012). Nossos estudos de microscopia eletrônica de varredura são corroborados pela descrição de Kadioglu et al. (2012), uma vez que a face abaxial, facilmente exposta no caso das variedades tolerantes apresenta-se com presença marcante de tricomas do tipo micropelos e tricomas em forma de ganchos (Fig. 9, 11, 13 e 15). Ademais a disposição mais proeminente das células buliformes nas variedades tolerantes apresentadas neste estudo corrobora com os estudos prévios com a espécie (Joarder et al. 2010; Artschwager 1925). Estes autores descrevem que as células buliformes frequentemente se localizam levemente acima do nível das demais células epidérmicas. Independente disso é sabido que o tamanho e a altura das células epidérmicas e suas estruturas acessórias estão relacionadas com aspectos ecológicos, apresentando respostas às alterações ambientais (Melo et al. 2007).

## 5. Conclusão

Os resultados aqui apresentados reafirmam a importância de medidas de atributos fisiológicos efetuadas ao meio-dia na diferenciação de variedades sensíveis e tolerantes ao estresse hídrico. O comportamento fisiológico das variedades RB92579 e RB867515, consideradas tolerantes ao déficit hídrico, juntamente com sua morfologia do mesofilo e da arquitetura epidérmica, denotam os meios pelos quais as variedades mesmo sobre estresse hídrico “manobram” a resposta a esse estresse. Com a correlação desses resultados ampliamos as possíveis características presentes em variedades modificadas geneticamente para serem tolerantes ao estresse hídrico.

A variedade sensível RB72454, destacou-se com maiores valores de assimilação de CO<sub>2</sub>, condutância estomática e transpiração na estação seca por meio de um maior grau de abertura estomática e temperaturas foliares mais baixas em relação às outras variedades estudadas, demonstrando que esta variedade consegue manter uma alta performance mesmo

sob estresse hídrico, esse comportamento pode levar o questionamento sobre o grau de sensibilidade para o estresse hídrico sugerido para essa variedade.

Nossos dados ressaltam a importância da avaliação de características morfofisiológicas na determinação de espécies sensíveis e tolerantes à estresses abióticos, uma vez que ajudam a elucidar como esses estresses podem interferir na produtividades das cultivares.

## **6. Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento das pesquisas e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida a primeira autora. Agradecimentos especiais são estendidos a Dra. Emília C.P. Arruda (Laboratório de Anatomia Vegetal – UFPE) e a Dra. Sandra Maria Carmello-Guerreiro (Instituto de Biologia – Unicamp) pela colaboração na execução dos cortes e análise das imagens.

## 7. Referências Bibliográficas

- Alcopar. (2013. ). "Estatísticas: histórico de produção da canade-açúcar no Brasil e no Paraná." Retrieved junho, 2013, from [www.alcopar.org.br](http://www.alcopar.org.br).
- Artschwager , E., 1925: Anatomy of vegetative organs of sugar cane. *J Agric Res* **30**, 197-241.
- Brown, M. B. and A. B. Forsyth, 1974: Robust tests for equality of variances. *J Am Stat Assoc* **69**, 364-367.
- Buckley , T. N., 2005: The control of stomata by water balance. *New Phytol* **168**, 275–292.
- Cameron, K. D., M. A. Teece and L. B. Smart, 2006: Increased Accumulation of Cuticular Wax and Expression of Lipid Transfer Protein in Response to Periodic Drying Events in Leaves of Tree Tobacco. *Plant Physiology* **140**, 176-183.
- Castro, P. R. C., S. Zambon, M. A. Sansigolo, J. A. Beltrame and M. C. S. Nogueira, 2002: Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e Roundup, em duas épocas de aplicação, na maturação e produtividade da cana-deaçúcar, SP 70-1143. . *Rev de Agric* **77**, 23-38.
- Catsky, J., 1974: Water content. In: B. Slavik ed. *Methods of studying plant water relations*. pp. 121-131. Springer, Berlin.
- Chakraborty, U., S. Dutta and B. N. Chakraborty, 2002: Response of tea plants to water stress. *Biol Plant* **45**, 557-562.
- CONAB, C. N. d. A. (2013). from [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_08\\_21\\_17\\_40\\_12\\_canaseriehist.xls](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_21_17_40_12_canaseriehist.xls).
- Dunford, S., 2010: Translocation in the Phloem. In: L. Taiz and E. Zeiger eds. *Plant Physiology 5<sup>th</sup> edition*. pp. 271-303. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA.
- Elham, F., R. A. Khavari-Nejad, G. H. Salekdeh and F. Najafi, 2012: Evaluation of Cuticular Wax Deposition, Stomata and Carbohydrate of Wheat Leaves for Screening Drought Tolerance. *Advan in Enviro Biol* **13**, 4035-4040.
- Fahn, A., 1990: *Plant Anatomy*. 2nd edition. Butterworth Heinemann, Oxford, USA.
- Gerrits, P. O. and L. Smid, 1983: A new, less toxic polymerization system for the embedding of soft tissues in glycol methacrylate and subsequent preparing of serial sections. *J Microsc-Oxford* **132**, 81-85.
- Goldemberg, J., S. T. Coelho, P. M. Nastari and O. Lucon, 2003: Ethanol learning curve the Brazilian experience. *Biomass Bioenergy* **26**, 301-304.
- Gutschick, V. P., 1999: Biotic and abiotic consequences of differences in leaf structure. *New Phytol* **143**, 3-18.
- Haberlandt, G., 1990: *Physiological plant anatomy*. Today & Tomorrow's printers & publishers, New Delhi.
- Hsiao, T. C., 1973: Plant responses to water stress. *Ann Rev Plant Phys* **24**, 519-570.
- Jagger, A., 2013: The fluctuating fortunes of Brazilian ethanol. *Bioprod And Biorefi* **7**, 103-105.
- Joarder, N., A. K. Roy, S. N. Sima and K. Parvin, 2010: Leaf blade and midrib anatomy of two sugarcane cultivars of Bangladesh. *J Bio-sci* **18**, 66-73.
- Johansen, D. A., 1940: *Plant microtechnique*. 3<sup>rd</sup> ed. Paul B. Hoeber, Inc, New York.
- Kadioglu, A., R. Terzia, N. Saruhanb and A. Saglama, 2012: Current advances in the investigation of leaf rolling caused by biotic and abiotic stress factors. *Plant Sci* **182**, 42-48.
- Kraus, J. E. and M. Arduin, 1997: *Manual básico de métodos em morfologia vegetal*. Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Melo, H. C., E. M. Castro, S. A.M., M. L.A. and A. J.D., 2007: Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. . *Hoehnea* **34**, 145-153.
- Mohammadian, M. A., J. R. Watling and R. S. Hill, 2007: DO WAXY STOMATAL PLUGS IMPACT LEAF GAS EXCHANGE IN A RAIN FOREST GYMNOSPERM *AGATHIS ROBUSTA*? . *Gen. Appl. Plant Physiology* **3**, 203-220.
- Molina, A., C. Acedo and F. Llamas, 2006: The relationship between water availability and anatomical characters in *Carex hirta*. *Aquat Bot* **85**, 257-262.
- O'Brien, T., N. Feder and M. McCully, 1965: Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. *Protoplasma* **59**, 368-373.
- Oliveira, R. A., E. Daros, J. L. C. ZAmbon, H. Weber, O. T. Ido, J. C. Bessalho-Filho, K. C. Zuffellato-Ribas and D. K. T. Silva, 2007: Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesq Agropec Trop* **37**, 71-76.
- Peak, D. and K. A. Mott, 2011: A new, vapour-phase mechanism for stomatal responses to humidity and temperature. *Plant, Cell & Environment* **34**, 162–178.
- Pompelli, M. F., S. C. Martins, E. F. Celin, M. C. Ventrella and F. M. DaMatta, 2010: What is the influence of ordinary epidermal cells and stomata on the leaf plasticity of coffee plants grown under full-sun and shady conditions? *Braz J Biol* **70**, 1083-1088.
- Reicosky, D. A. and J. W. Hanover, 1978: Physiological effects of surface waxes. *Plant Physiol* **62**, 101-104.
- Scholander, P. F., E. d. Bradstreet, E. A. Hemmingsen and H. T. Hammel, 1965: Sap pressure in vascular plants negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* **148**, 339-346.
- Shapiro, S. S. and M. B. Wilk, 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**, 591-611.
- Silva, M. A., J. L. Jifon, J. A. G. Silva and V. Sharma, 2007: Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Braz J Plant Physiol* **19**, 193-201.
- Silva, P. P., L. Soares, J. G. Costa, L. S. Viana, C. F. Andrade, V. X. Nascimento, A. R. Todaro, A. Riffel, M. F. Grossi-de-Sa, M. H. P. Barbosa, A. E. G. Sant'Ana and C. E. Ramalho Neto, 2012: Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. *Indus Crops And Prod* **37**, 11-19.
- Smit, M. A. and A. Singels, 2006: The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research* **98**, 91-97.
- Streck, N. A., 2004: Do we know how plants sense a drying soil? *Ciência Rural* **34**, 581-584.
- Sudene. (2014). "Programa de monitoramento climático em tempo real da região Nordeste." Retrieved Jan 24, 2014, from [www6.cptec.inpe.br/proclima2/balanco\\_hidrico/balancohidrico.shtml](http://www6.cptec.inpe.br/proclima2/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml).
- Woodman, R. L. and G. W. Fernandes, 1991: Differential mechanical defense: herbivory, evapotranspiration, and leaf hairs. *Oikos* **60**, 11–19.

## Lista de Figuras

Figura 1: Esquema do desenho experimental do campo de coleta. O material botânico foi coletado das duas fileiras mais inferiores, onde os blocos com número 2 (RB92579), 3 (RB867515), 4 (RB855536) e 5 (RB72454).

Figura 2: Potencial hídrico da antemanhã (painel superior) e ao meio dia (painel inferior) de 4 variedades de cana de açúcar (*Saccharum* spp.) medidos durante a estação seca (barras escuras) e durante a estação chuvosa (barras vazias). Médias seguidas de letras maiúsculas denotam diferenças significativas (SNK  $P \leq 0,005$ ) entre as diferentes variedades, enquanto que letras minúsculas denotam diferenças significativas (SNK  $P \leq 0,005$ ) entre as estações. Asteriscos denotam diferenças significativas (t-test  $P \leq 0,005$ ) entre os horários. Os valores representam a média ( $\pm$  EP). n = 10

Figura 3: Trocas gasosas medidas as 8:00 h (painéis a esquerda) e ao meio dia (painéis a direita) de 4 variedade de cana de açúcar (*Saccharum* ssp.) medidos durante a estação seca (barras escuras) e durante a estação chuvosa (barras vazias). Os valores representam a média ( $\pm$  EP). n = 10. Mais detalhes ver Fig. 2.

Figuras 4: *Saccharum* spp. Variedade RB855536; mesofilo foliar na estação chuvosa e na estação seca. Microscopia óptica, Coloração Azul de Toluidina. a. Visão geral do mesofilo foliar na estação chuvosa. b. Visão geral do mesofilo foliar na estação seca. c. Detalhe da Fig. 4a, mostrando em maior aumento a epiderme adaxial com estômatos e células buliformes. d. Célula buliforme na estação chuvosa. e. Célula buliforme na estação seca. f. Estômatos na epiderme abaxial estação chuvosa. g. Estômatos na epiderme abaxial estação seca. Barras = 100 $\mu$ m (a, b), 50  $\mu$ m (a,b), 20  $\mu$ m (c), 10  $\mu$ m (d, e, f, g).

Figuras 5: *Saccharum* spp. Variedade RB867515 na estação chuvosa e na estação seca. Microscopia óptica, Coloração Azul de Toluidina. a. Visão geral do mesofilo foliar na estação chuvosa. b. Visão geral do mesofilo foliar na estação seca. c. Nervura e mesofilo na estação chuvosa. d. Nervura e mesofilo na estação seca e. Célula buliforme na estação chuvosa. f. Célula buliforme na estação seca. g. Estômatos na epiderme adaxial na estação chuvosa. h. Estômato e câmara subestomática na epiderme abaxial na estação seca. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 50  $\mu\text{m}$  (c,d), 20  $\mu\text{m}$  (f), 10  $\mu\text{m}$  (e, g, h, i).

Figura 6: *Saccharum* spp., variedade RB92579. Esquema da dissociação epidérmica. a. Vista da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Vista da epiderme abaxial na estação chuvosa. c. Vista da epiderme adaxial na estação seca. d. Vista da epiderme abaxial na estação seca. e. Estômato. Barras = 20  $\mu\text{m}$  ( a, b, c, d), 10  $\mu\text{m}$  (e).

Figura 7: *Saccharum* spp., variedade RB72454. Esquema da dissociação epidérmica. a. Vista da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Vista da epiderme abaxial na estação chuvosa. c. Vista da epiderme adaxial na estação seca. d. Vista da epiderme abaxial na estação seca. e. Estômato. Barras = 20  $\mu\text{m}$  ( a, b, c, d), 10  $\mu\text{m}$  (e).

Figura 8: *Saccharum* spp. Variedade RB92579. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme adaxial na estação seca. c, d. Estômato na estação chuvosa. e, f. Estômato na estação seca. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e, f).

Figura 9: *Saccharum* spp. Variedade RB92579. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme abaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme abaxial na estação seca. c. Tricomas em formato de ganchos na estação chuvosa. d. Estômato na estação

chuvosa. e. Espinhos na estação seca. f. Estômato na estação seca. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e, f).

Figura 10: *Saccharum* spp. Variedade RB867515. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme adaxial na estação seca. c e d. Estômatos na estação chuvosa. e e f. Estômato na estação seca. Seta = micropelo. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e, f).

Figura 11: *Saccharum* spp. Variedade RB867515. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme abaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme abaxial na estação seca. c e d. Estômatos na estação chuvosa. f. Estômato na estação seca. Seta micropelo. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e, f).

Figura 12: *Saccharum* spp. Variedade RB855536. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme adaxial na estação seca. c e d. Estômatos na estação chuvosa. e. Estômato na estação seca. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e).

Figura 13: *Saccharum* spp. Variedade RB855536. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme abaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme abaxial na estação seca. c e d. Estômatos na estação chuvosa. e. Estômato na estação seca. Asterisco: micropelo. Seta: tricoma tipo gancho. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e).

Figura 14: *Saccharum* spp. Variedade RB72454. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme adaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme adaxial na estação seca. c. Micro pelo e estômato na estação chuvosa. d e e. Estômato na estação chuvosa e na estação seca respectivamente. Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e).

Figura 15: *Saccharum* spp. Variedade RB72454. Microscopia eletrônica de varredura. a. Visão geral da epiderme abaxial na estação chuvosa. b. Visão geral da epiderme abaxial na estação seca. c. Micro pelo e estômato na estação chuvosa. d. Gancho e estômato na estação chuvosa. e e f. Estômatos na estação seca. Asterisco: micro pelo. Seta: tricoma tipo gancho Barras = 100  $\mu\text{m}$  (a, b), 10  $\mu\text{m}$  (c, d, e, f).

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Medidas anatômicas das variedades de cana-de-açúcar de acordo com as estações.

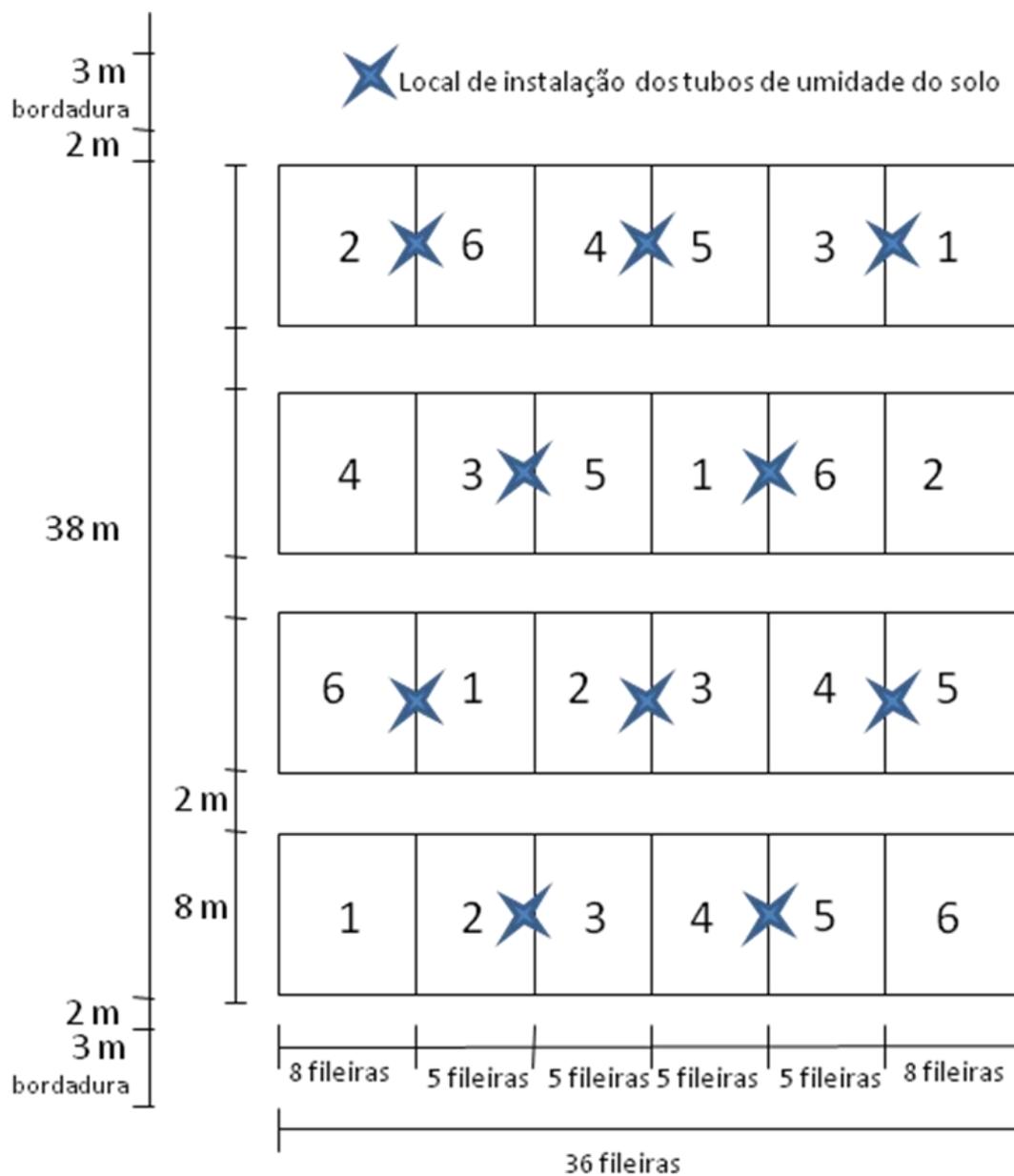


Figura 1

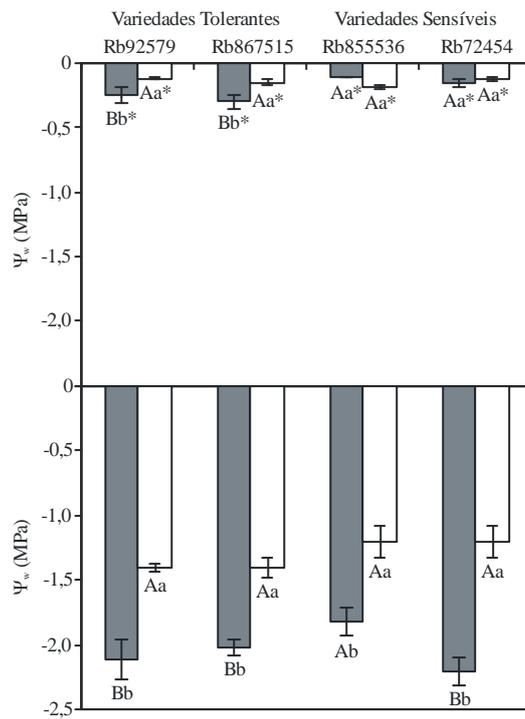


Figura 2

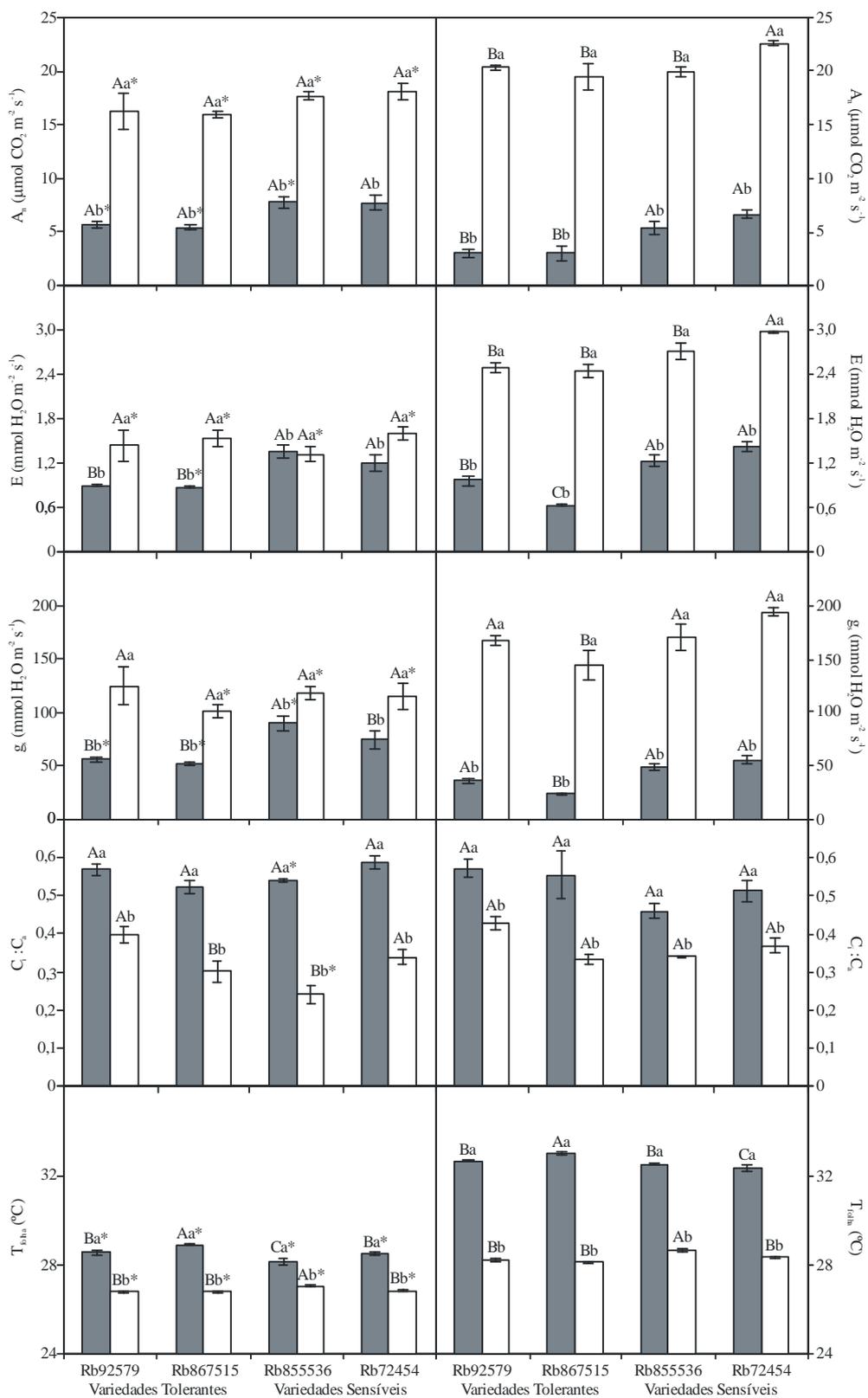


Figura 3

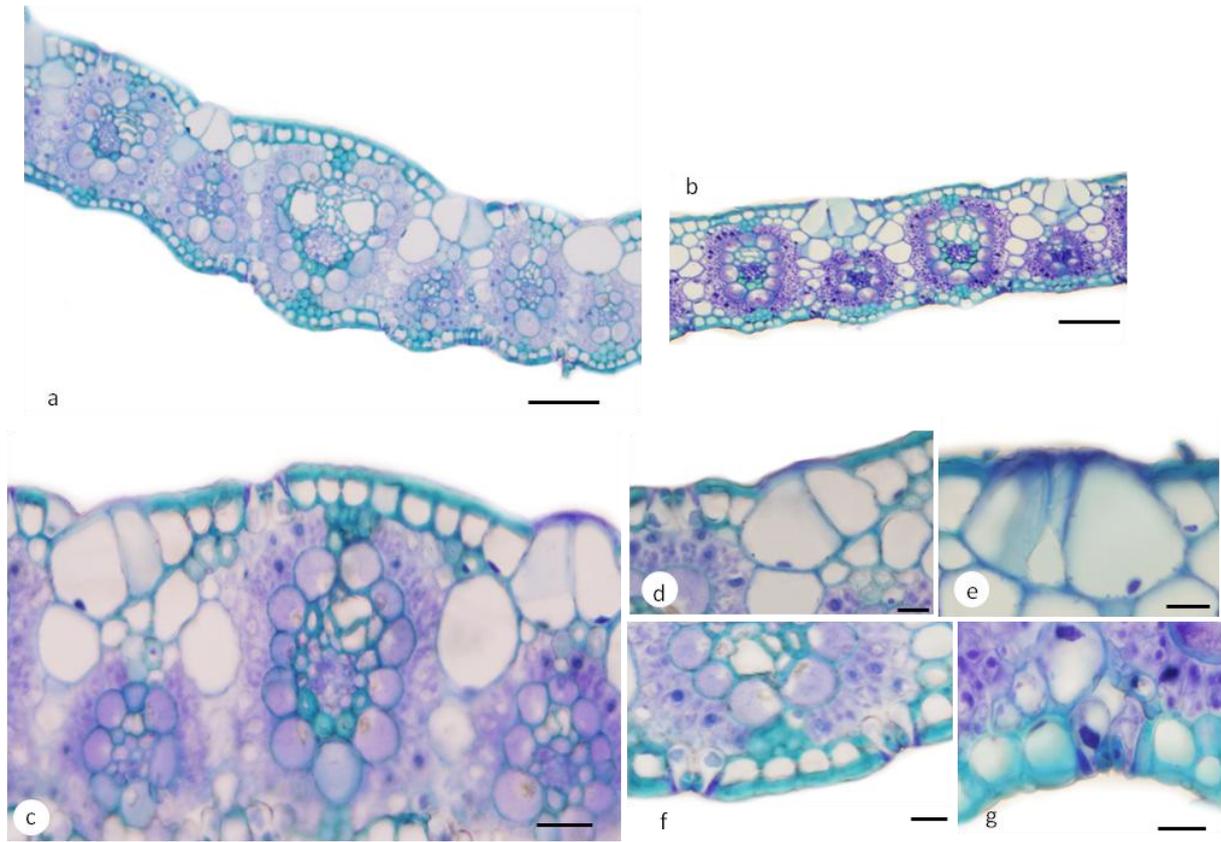


Figura 4

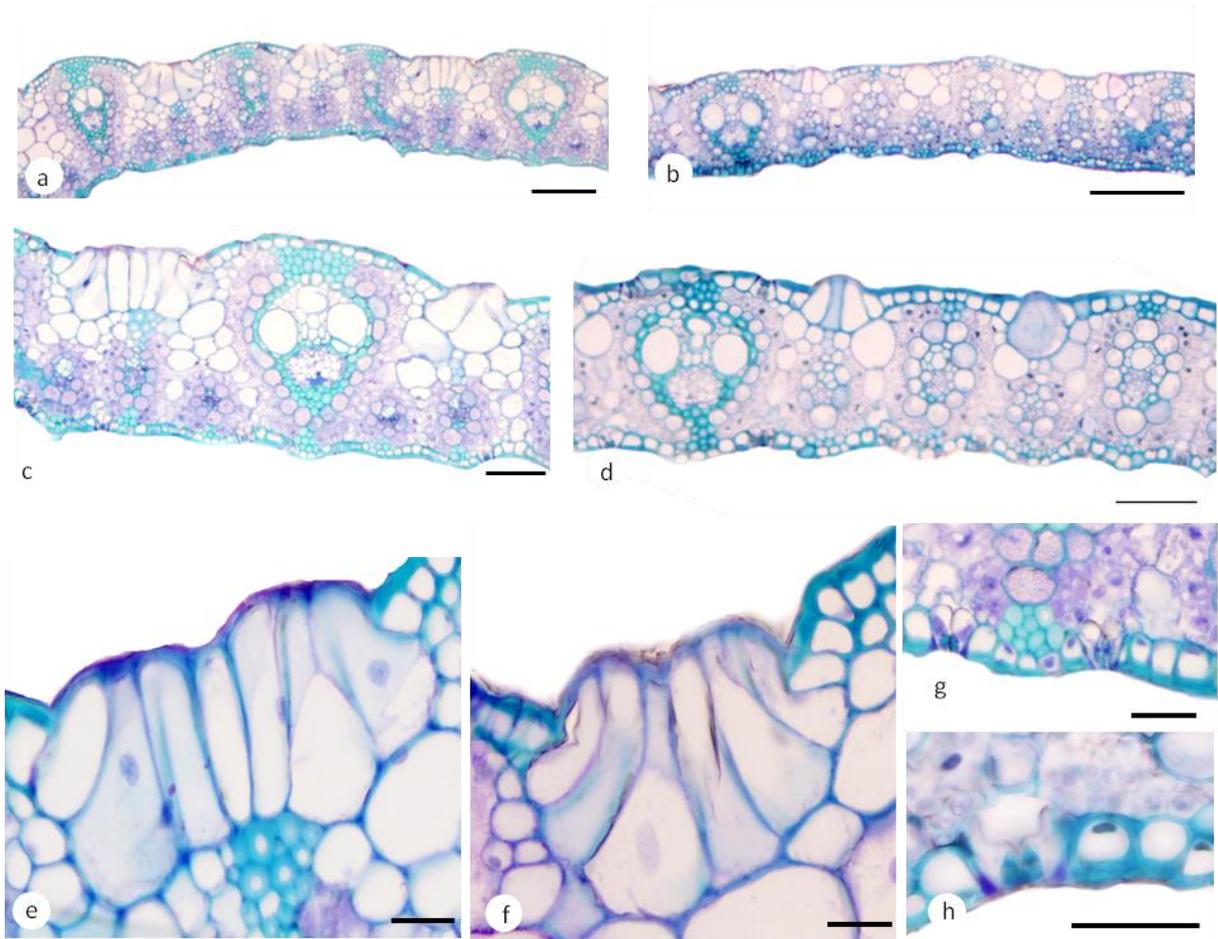


Figura 5

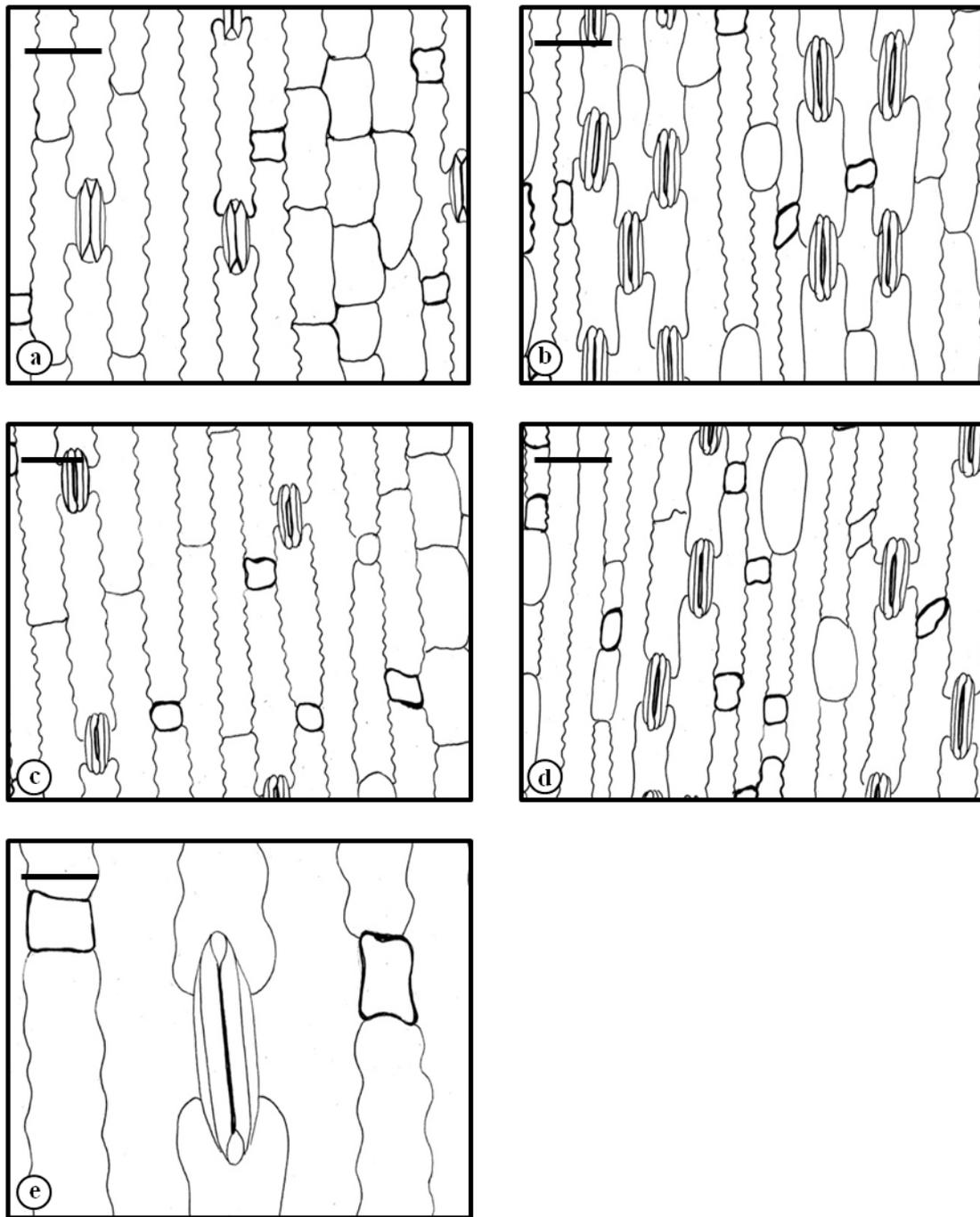


Figura 6

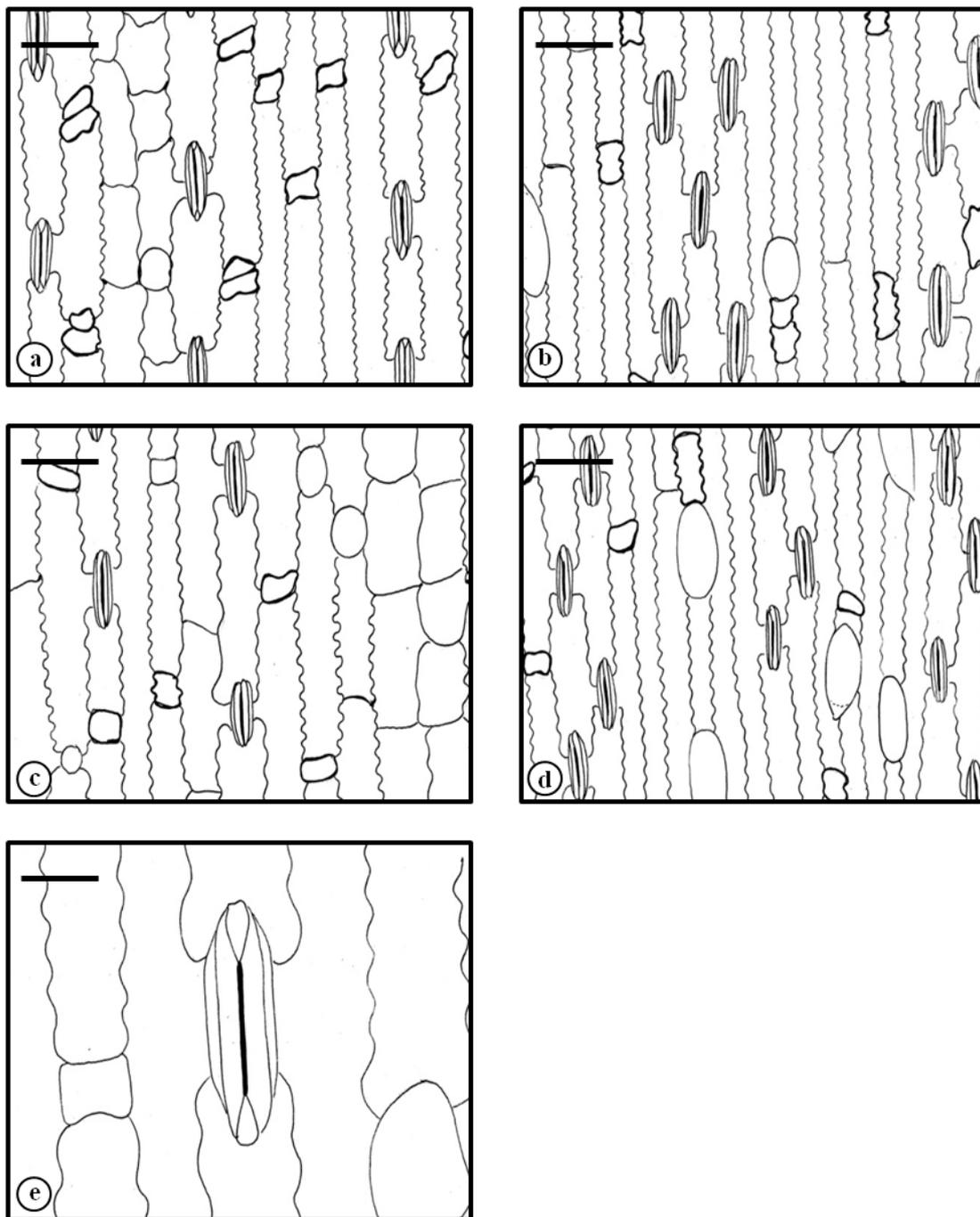


Figura 7

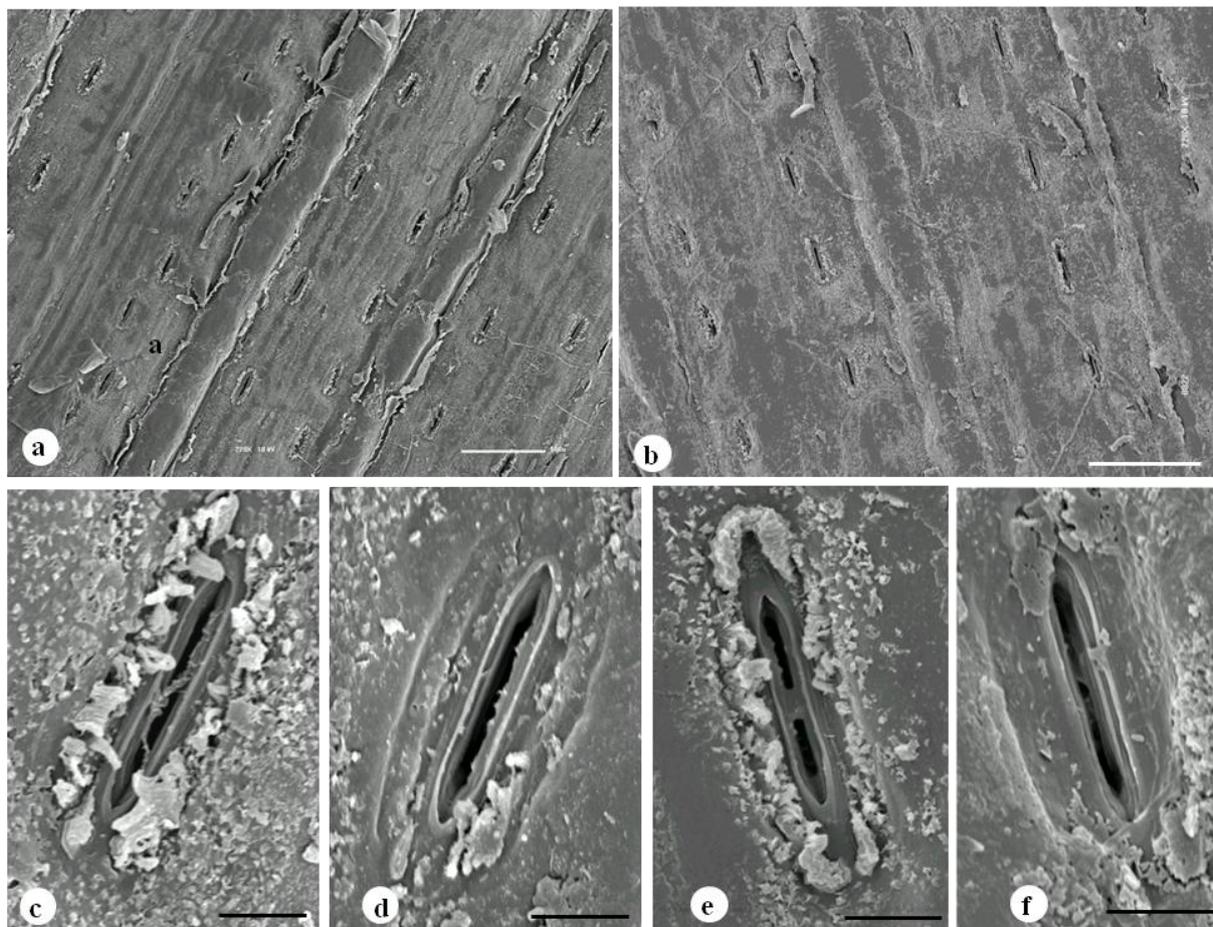


Figura 8

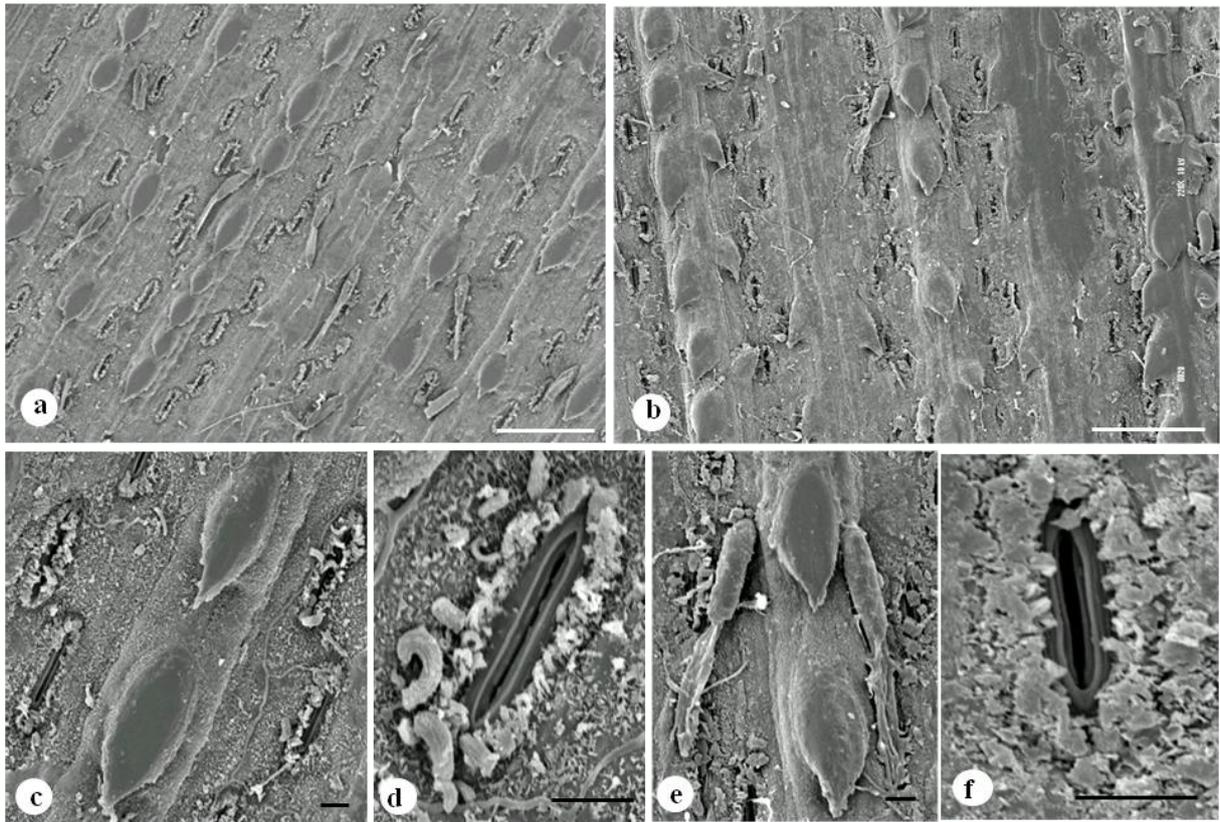


Figura 9

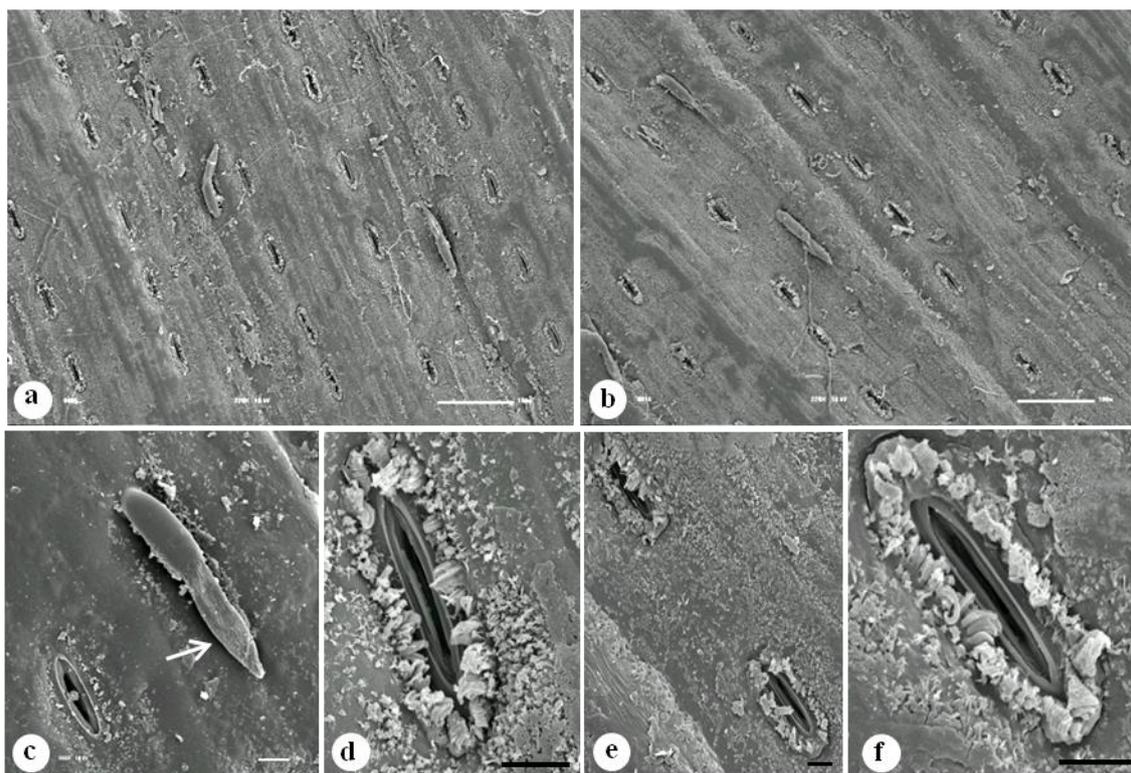


Figura 10

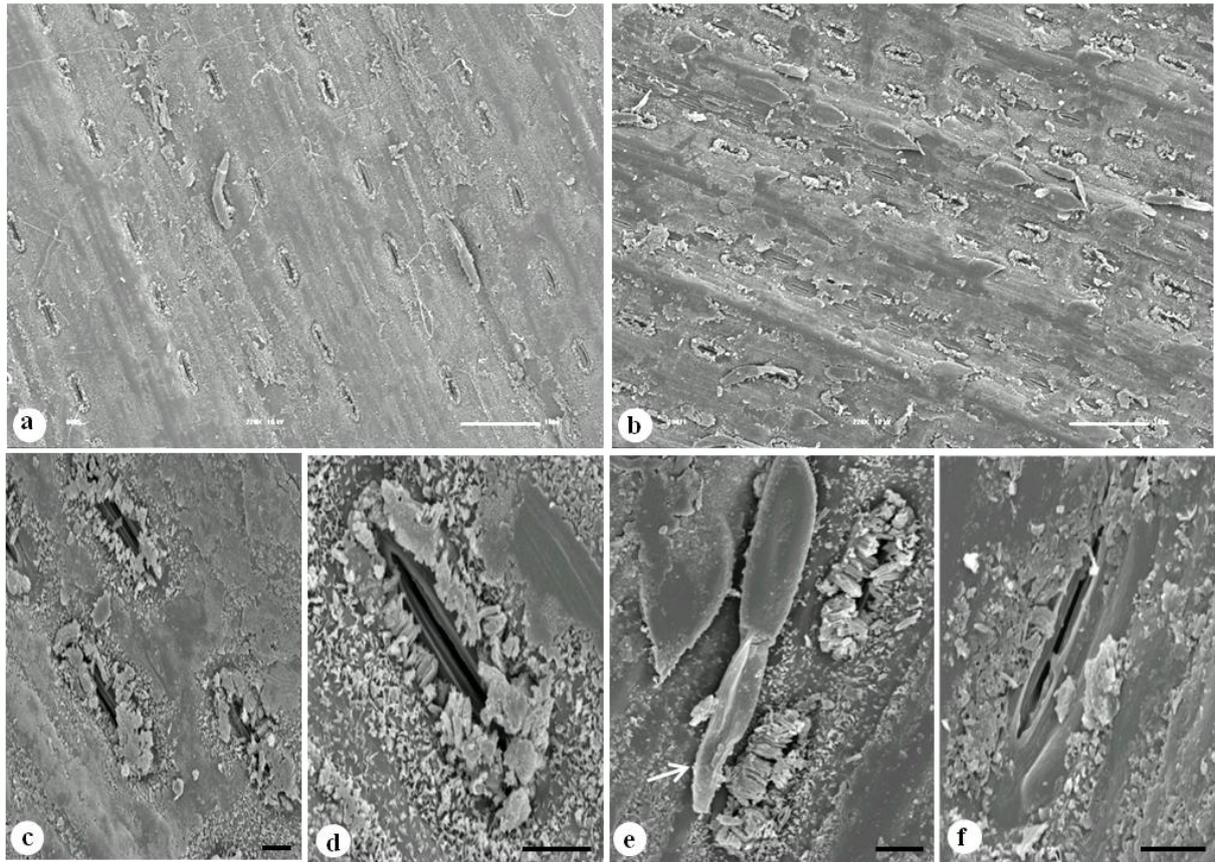


Figura 11

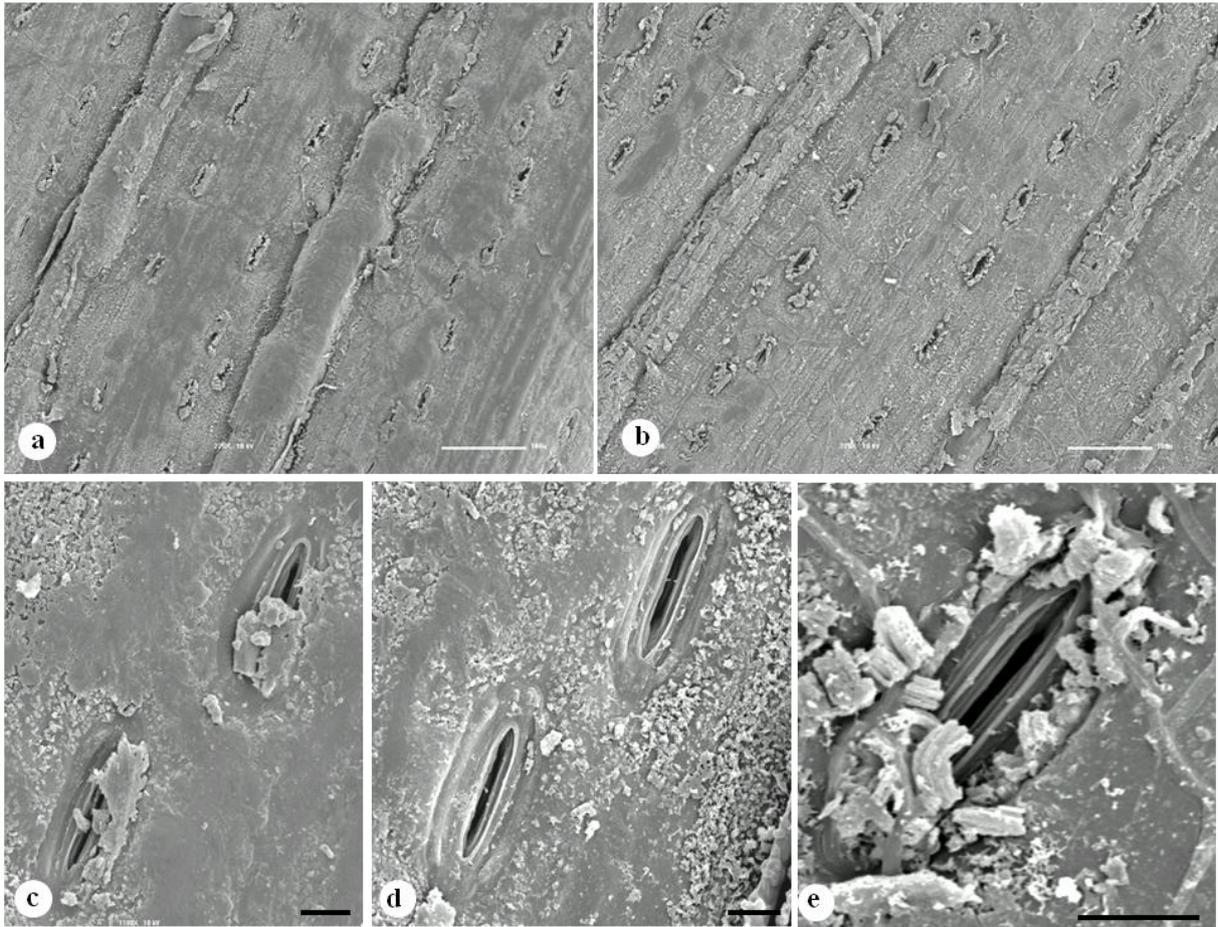


Figura 12

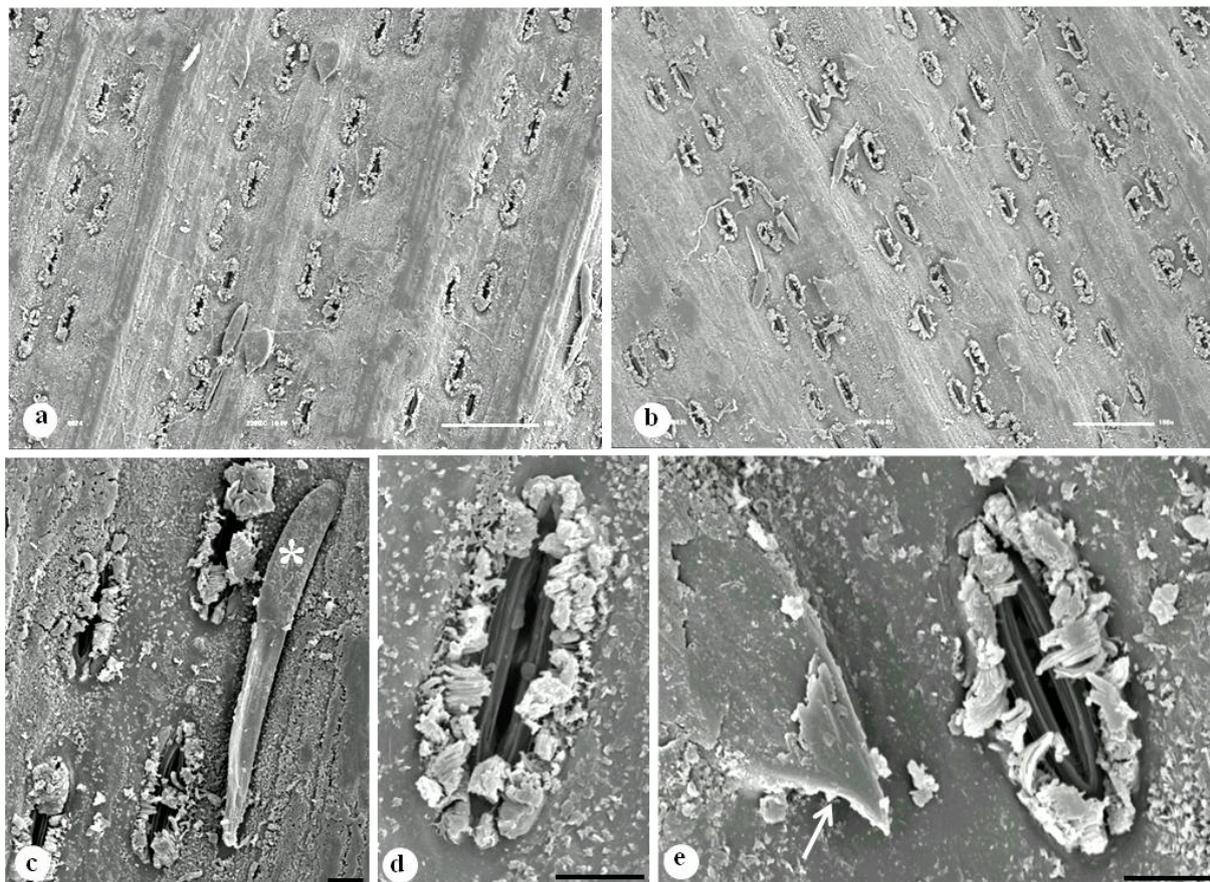


Figura 13

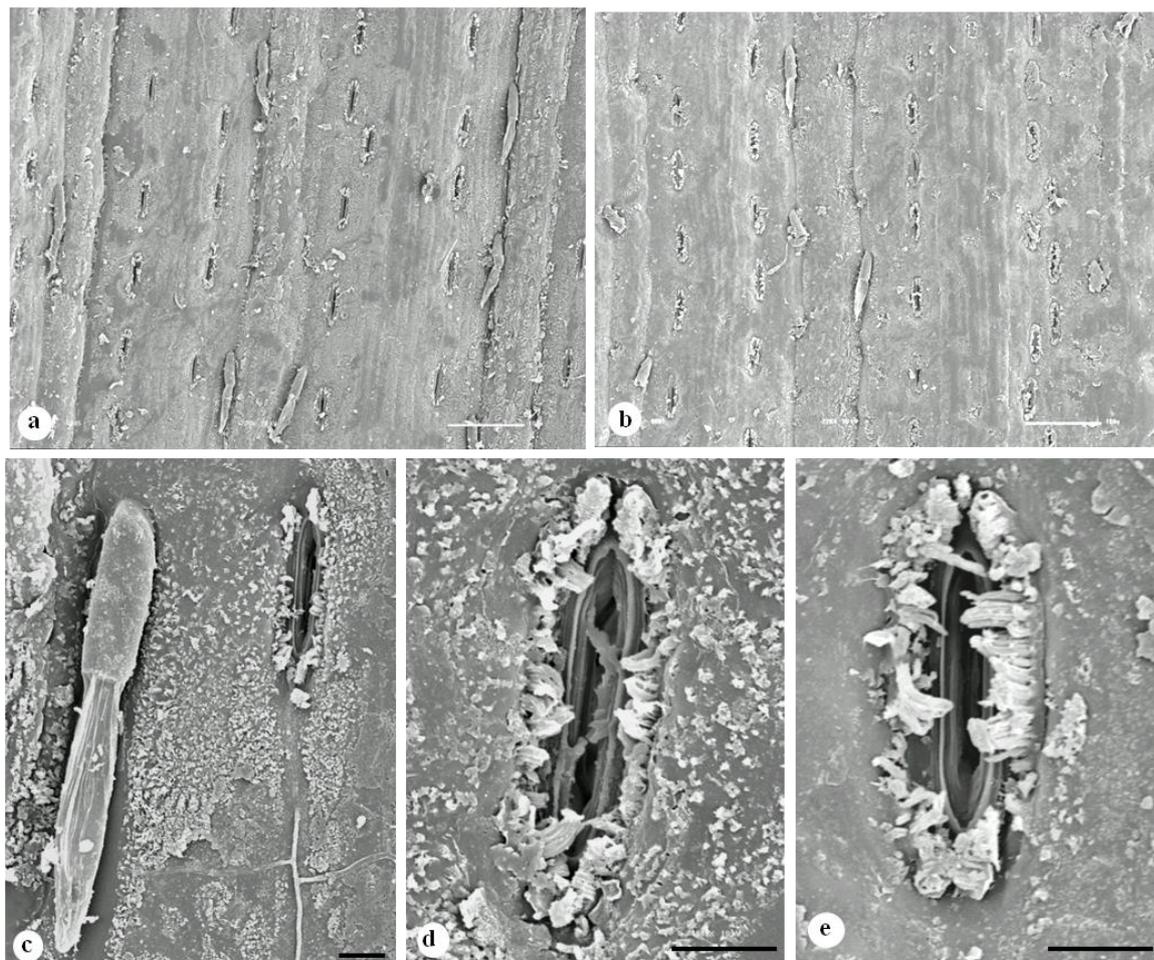


Figura 14

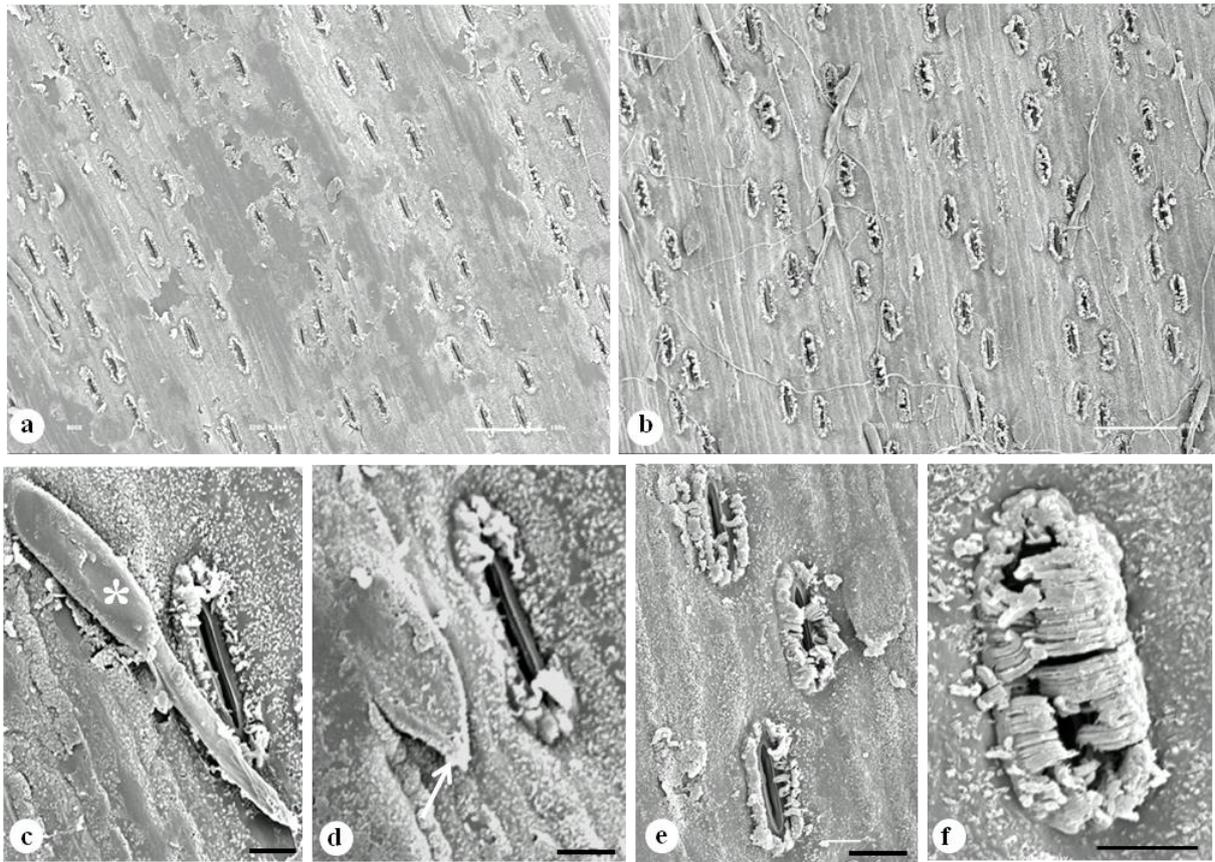


Figura 15

Tabela 1

Características	RB92579		RB867515		RB85536		RB72454	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Densidade estomática <sub>abaxial</sub> (mm <sup>-2</sup> )	6.5±1.57Aa	7.2±1.36a	6.8±1.4a	7.9±1.2a	6.8±2.4a	8.3±2.7a	7.6±1.6a	6.8±1.3a
Densidade estomática <sub>abaxial</sub> (mm <sup>-2</sup> )	14.5±2.56a	15.7±2.96a	15.1±2.4a	16.0±2.6a	16.3±3.1a	17.1±3.2a	15.3±2.2a	14.9±2.5a
Abertura estomática <sub>abaxial</sub> (µm)	5.0±0.25	4.0±0.58	5.4±0.5	3.7±0.4	3.9±0.4	5.3±0.4	5.5±0.7	5.8±0.4
Abertura estomática <sub>abaxial</sub> (µm)	3.2±1.16	2.8±0.23	3.3±0.6	2.9±0.6	5.9±0.7	3.1±0.8	3.6±0.6	2.5±0.1
Espessura Foliar (µm)	130.4±6.3	92.6±2.98	170.3±2.8	109.5±5.5	112.1±5.4	81.6±10.6	120.7±4.3	84.7±5.8