

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de
Produção Agrícola Familiar

Dissertação



Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais no Rio Grande do Sul

William Rodrigues Antunes

Pelotas, 2015

WILLIAM RODRIGUES ANTUNES
Engenheiro Agrônomo

Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais no Rio Grande do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Edgar Ricardo Schöffel

Co-orientador: Sergio Delmar dos Anjos e Silva

Pelotas, 2015.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A111d Antunes, William Rodrigues

Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais no Rio Grande do Sul / William Rodrigues Antunes ; Edgar Ricardo Schöffel, orientador ; Sergio Delmar dos Anjos e Silva, coorientador. — Pelotas, 2015.

89 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Tolerância ao frio. 2. Produtividade. 3. Maturação. 4. Fatores abióticos. I. Schöffel, Edgar Ricardo, orient. II. Silva, Sergio Delmar dos Anjos e, coorient. III. Título.

CDD : 633.61

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

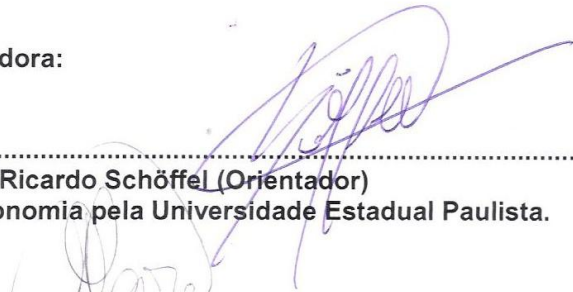
William Rodrigues Antunes

Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais no Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 26 de fevereiro de 2015.

Banca examinadora:



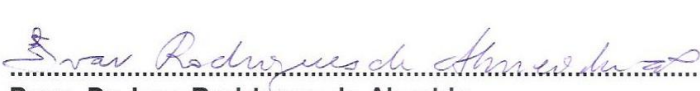
.....
Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista.



.....
Prof. Dr. Luis Antônio Veríssimo Corrêa
Doutor em Produção Vegetal pela Universidad Politécnica de Madrid.



.....
Prof. Dr. Roberto Trentin
Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria.



.....
Pesq. Dr. Ivan Rodrigues de Almeida
Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista.

A todos que não mediram esforços para que este trabalho acontecesse.

DEDICO

Agradecimentos

A Deus por sempre guiar meus passos e iluminar o meu caminho.

Ao professor Dr. Edgar Ricardo Schöffel, pela orientação, amizade e apoio sempre que preciso.

Ao pesquisador e co-orientador Dr. Sergio Delmar dos Anjos e Silva pela orientação, amizade, incentivo e principalmente pela oportunidade de trabalhar no grupo Agroenergia.

Ao pesquisador Dr. Ebersson Eicholz pelo apoio, disposição e amizade.

A toda minha família, pois sem eles eu não seria tudo que sou.

A minha estimada companheira Priscila Duarte pela compreensão, dedicação e carinho em todos os momentos.

Aos colegas e amigos pelos momentos de descontração e troca de experiências.

A toda equipe Agroenergia, pela união, amizade e trabalho desenvolvido, em especial aos amigos Vilmar, Adílson, Alexssandra (Índia), Milena, Camila, Marcel, Rérinton, Elis, Mariana, Eder, Vanilton, Mario, Wildon e Jorge.

A instituição Embrapa Clima Temperado por todo apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, pela oportunidade de adquirir novos conhecimentos, através de professores qualificados.

A CAPES, pela bolsa de mestrado.

As Empresas e Instituições parceiras: Grandespe, Coopercana, Coopermil, Fepagro e Fazenda da Pedra pela cooperação, disponibilidade e apoio imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA), pela cooperação e disponibilidade de materiais para os ensaios.

Resumo

ANTUNES, William Rodrigues. **Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais do Rio Grande do Sul**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

A cana-de-açúcar tem grande importância no estado do Rio Grande do Sul por estar associada às atividades desenvolvidas pela agricultura familiar, sendo utilizada para fins comerciais como produção de cachaça, açúcar mascavo, melado, rapadura e álcool, além de ser utilizada para consumo na propriedade, ou comercialização informal de produtos. A cultura é fortemente influenciada pelas variáveis meteorológicas: temperatura do ar, radiação solar global e chuva, as quais interferem diretamente na produtividade, tanto de colmos como de açúcar. Portanto, a interação entre genótipo e ambiente é um dos principais fatores a ser avaliado no desenvolvimento de um sistema de produção. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio em diferentes ambientes no estado do Rio Grande do Sul. As variáveis avaliadas foram: tonelada de colmos ha^{-1} (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais ha^{-1} (TSSTH), eficiência do uso de radiação solar global em produção (Ef Rs), maturação e tolerância ao frio dos genótipos. Para a análise de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos aos ambientes de teste foi utilizada a metodologia AMMI (*Análise de efeitos principais aditivos e interações multiplicativas*), com base nas variáveis TCH, TSSTH e Ef Rs. Os resultados indicam a ocorrência de interação entre genótipo e ambiente, havendo genótipos estáveis e de ampla adaptação aos ambientes de teste. Os grandes destaques entre os genótipos foram o RB975932 (G12) de ciclo precoce com 124,3 toneladas de colmos ha^{-1} , 24,8 toneladas de sólidos solúveis totais ha^{-1} e eficiência de produção de 2,20 g MJ^{-1} , e o RB996527 (G23) de ciclo médio-tardio com 125,3 toneladas de colmos ha^{-1} , 24,0 toneladas de sólidos solúveis totais ha^{-1} e eficiência de produção de 2,22 g MJ^{-1} , os quais apresentaram superioridade em produtividade de colmos e açúcar, eficiência do uso de energia solar em produção e estabilidade em relação às suas respectivas variedades testemunhas RB855156 (G11) e RB867515 (G25). Para tolerância ao frio tanto os genótipos de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio, apresentaram comportamento diferenciado com notas variando de 1 (gema viva) a 5 (gema morta), assim como para maturação com valores variando entre 13,8 e 23,4 °Brix. Os ambientes de teste de maior produtividade tanto para os genótipos de ciclo precoce quanto para os médio-tardios foram São Luiz Gonzaga (A6- 1° soca), Santa Rosa (A7 - cana planta) e Santa Rosa (A8 - 1° soca), com produtividades médias acima da média geral dos ambientes.

Palavras-chave: Tolerância ao frio. Produtividade. Maturação. Fatores abióticos.

Abstract

ANTUNES, William Rodrigues. **Performance sugar cane genotypes in five locations in the Rio Grande do Sul**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

Sugar cane is very important in the state of Rio Grande do Sul since it is associated with the activities carried out by family agriculture, being used for commercial purposes such as production of cachaça (white lightning), muscovado, molasses, brown sugar and alcohol, and is used for consumption on the property, or informal marketing of products. The culture is strongly influenced by meteorological variables: air temperature, solar radiation and rain, which directly interferes with the productivity of both stems and sugar. Therefore, the interaction between genotype and environment is one of the main factors to be evaluated in the development of a production system. In this sense, the objective of this study was to evaluate the performance of sugar cane genotypes of early and mid-late cycles in different environments in the state of Rio Grande do Sul. The variables evaluated were: ton of stems ha^{-1} (TCH), ton of total soluble solids ha^{-1} (TSSTH), efficiency of the use of global solar radiation production (Eph Rs), maturation and cold tolerance of genotypes. For the analysis of adaptability and stability of the genotype to the test environments, it was used the AMMI methodology (analysis of additive main effects and multiplicative interactions), based on the TCH, TSSTH and Ef Rs variables. The results indicate the occurrence of interaction between genotype and environment, with stable genotypes and broad adaptation to test environments. The highlights among the genotypes were RB975932 (G12) of early cycle with 124.3 tons of stems ha^{-1} , 24.8 tons of total soluble solids ha^{-1} and production efficiency of 2.20 g MJ^{-1} , and the RB996527 (G23) of mid-late cycle with 125.3 tons of stems ha^{-1} , 24.0 tons of total soluble solids ha^{-1} and production efficiency of 2.22 g MJ^{-1} , which showed superiority in stems, sugar and efficiency of the use of solar energy production and stability in relation to their respective witnesses varieties RB855156 (G11) and RB867515 (G25). Considering cold tolerance, both early and mid-late cycle genotypes presented differentiated behaviors with scores from 1 (live button) to 5 (dead button), as well as maturation with values ranging between 13,8 and 23,4 ° Brix. The higher productivity test environments for both genotypes of early and mid-late cycles were São Luiz Gonzaga (A6 - 1st stem), Santa Rosa (A7 - cane plant) and Santa Rosa (A8 - 1st stem) with average yields above the general average of environments.

Keywords: Cold tolerance. Productivity. Maturation. Abiotic factors.

Lista de figuras

REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1** - Participação dos países para produção mundial de cana-de-açúcar.
Fonte: CIB, 2009.....16
- Figura 2** - Porcentagem da área plantada dos principais estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil. Fonte: CONAB, 2014.....17
- Figura 3** - Zoneamento Agroecológico da cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: MANZATTO, 2010.....18

CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Escala de notas para danos em gema apical na cultura da cana-de-açúcar.37
- Figura 2** - Temperaturas médias do ar nas safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B) e temperaturas máximas do ar nas safras 2012/13 (C) e 2013/14 (D) observadas nas localidades gaúchas onde estão inseridos os ensaios de pesquisa com a cultura da cana-de-açúcar.....39
- Figura 3** - Temperaturas mínimas do ar observadas nas localidades gaúchas onde estão inseridos os ensaios de pesquisa com a cultura da cana-de-açúcar, safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B).....40

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Biplot AMMI1 no qual IPCA1 é a interação para produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TSSTH) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs) de 26 genótipos (G) de cana-de-açúcar de maturação precoce (a, b, c) e médio-tardia (d, e, f), avaliados em nove ambientes (A), na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, nas safras 2012/13 (cana planta e 2013/14 (cana 1° soca).....64

Lista de tabelas

MEDOTOLOGIA GERAL

- Tabela 1** - Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados em nove ambientes do estado do Rio Grande do Sul.....29
- Tabela 2** - Ambiente, safra, ciclo de cultivo e coordenadas geográficas dos nove ambientes de testes com a cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul30
- Tabela 3** - Local, código e coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa, safra 2012/13 e 2013/14.....32

CAPÍTULO 1

- Tabela 1** - Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados em nove ambientes do estado do Rio Grande do Sul.....35
- Tabela 2** - Número de dias observados em cinco intervalos de temperatura a partir de março até a colheita da cana-de-açúcar em nove ambientes do Rio Grande do Sul, nas safras 2012/13 e 2013/14.....41
- Tabela 3** - Notas de gema apical de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados como cana planta nos ambientes Porto Xavier (PXV) e Salto do Jacuí (SJC), Rio Grande do Sul, safra 2012/13.....42
- Tabela 4** - Temperaturas mínimas do ar e da relva nos ambientes Porto Xavier e Salto do Jacuí, com potencial de danos as gemas apicais da cultura da cana-de-açúcar, safra 2012/13.....45
- Tabela 5** - Notas de gema apical de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados como cana 1^o soca nos ambientes Porto Xavier (PXV), São Borja (SBO), São Luiz Gonzaga (SLG), Salto do Jacuí (SJC) e Santa Rosa (SRO), Rio Grande do Sul, safra 2013/14.47
- Tabela 6** - Sólidos solúveis totais (SST) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em quatro ambientes da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, safra 2012/13.50
- Tabela 7** - Sólidos solúveis totais (SST) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em cinco ambientes da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, safra 2013/14.54

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. A cultura da cana-de-açúcar	14
2.2. Influência dos fatores abióticos na cultura da cana-de-açúcar	19
2.3. Interação entre Genótipo e Ambiente - adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	25
3. METODOLOGIA GERAL	29
4. CAPÍTULO 1. Tolerância ao frio e qualidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul	33
4.1. Introdução	33
4.2. Material e métodos	35
4.3. Resultados e discussão.....	37
4.4. Conclusões.....	56
5. CAPÍTULO 2. Desempenho produtivo de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio na região noroeste do Rio Grande do Sul	58
5.1. Introdução	58
5.2. Material e métodos	60
5.3. Resultados e Discussão	63
5.4. Conclusões.....	73
6. DISCUSSÃO GERAL	74
7. CONCLUSÃO GERAL.....	76
8. REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com uma área cultivada de aproximadamente 8,8 milhões de hectares e produtividade média de 75 t ha⁻¹ na safra 2013/14 (CONAB, 2014). No Rio Grande do Sul (RS) a produtividade média é de 40 t ha⁻¹, em uma área cultivada de cerca de 29 mil hectares (IBGE, 2014). A cana-de-açúcar produzida no estado é utilizada para fins comerciais como produção de cachaça, açúcar mascavo, melado, rapadura e álcool, além de ser utilizada para consumo na propriedade, ou comercialização informal de produtos (SILVA et al., 2010).

A produção desta cultura no RS representa menos de 0,5% da área plantada do país, no entanto, tem grande importância por estar associada às atividades desenvolvidas pela agricultura familiar, relacionadas à criação de gado e ao processamento artesanal de subprodutos de cana-de-açúcar.

A região Sul do Brasil, assim como o Centro-oeste, é considerada uma das novas fronteiras agrícolas para o cultivo da cana-de-açúcar. O zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar apontou 1,5 milhões de hectares com aptidão ao cultivo no RS e considera 182 municípios aptos para o cultivo com fins de produção de etanol e açúcar e 216 municípios com potencial de cultivar cana-de-açúcar para outros fins, situados nas regiões da Depressão Central, Missões, Alto Uruguai e Litoral (MANZATTO et al., 2010).

A diferenciação mesoclimática do RS, combinada ao relevo mais abrupto, o destino da produção e o processo histórico de colonização, são alguns fatores que vincularam o plantio da cana-de-açúcar à propriedade agrícola familiar gaúcha (SOARES, 2008). A agricultura familiar representa uma grande parcela da economia do RS, e a cana-de-açúcar corresponde a uma importante fonte de renda para muitas famílias (MALUF et al., 2008).

Assim como qualquer outro vegetal a cana-de-açúcar tem sua produtividade influenciada pelas variações meteorológicas ao longo de todo o seu ciclo de cultivo. Segundo Brunini (2008) esta cultura é exigente nas variáveis meteorológicas; temperatura do ar e precipitação, assim como a distribuição de chuvas, desde o

plantio até a colheita. Apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, a cana-de-açúcar apresenta maiores produtividades quando ocorre período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, seguido por um período seco, ensolarado e frio durante as fases de maturação e colheita (BRUNINI, 2008).

A cana é uma planta do tipo C₄, com alta eficiência fotossintética, quanto maior a captação de radiação solar, maior será a fotossíntese realizada pela cultura, e o acúmulo de açúcares (BRUNINI, 2008).

As temperaturas baixas e os dias curtos de inverno diminuem o crescimento da planta, e promovem a maturação determinando maior acúmulo de sacarose até o ponto de colheita. Temperaturas em torno de 17,0 °C são benéficas para maturação, enquanto que temperaturas menores que 2,5 °C podem desfavorecer o acúmulo final de açúcares (MALUF et al., 2008).

No RS o clima já foi apontado como fator limitante para expansão da cultura da cana-de-açúcar, devido à ocorrência de temperaturas baixas e o maior risco de ocorrência de geadas (ALMEIDA et al., 2008). A ocorrência de geadas pode causar danos à cultura como perda de sacarose e diminuição da produtividade (EGGLESTON; LEGENDRE, 2003), sendo esse fenômeno o principal problema para o cultivo da cana-de-açúcar no estado.

Por outro lado, existem nove variedades indicadas para plantio no Rio Grande do Sul, as quais apresentam alta a média produtividade agrícola, tolerância em condições de estresse por frio e estiagem, sanidade vegetal e elevado teor de sólidos solúveis (SILVA et al., 2012).

Estudos envolvendo tolerância varietal para enfrentar os estresses climáticos têm aumentado de forma considerável nos últimos anos para a cultura, considerada altamente dependente de condições meteorológicas adequadas para sua produção.

Nesse sentido, a avaliação de genótipos e sua correlação com as condições meteorológicas são de fundamental importância para indicação de plantio, manejo e desenvolvimento da cultura no estado. Por esta razão, o presente trabalho tem como objetivo geral identificar genótipos de cana-de-açúcar com maior adaptação para o cultivo nas condições climáticas do estado do Rio Grande do Sul.

Através da revisão de literatura desenvolvida, buscou-se uma abordagem histórico-geográfica da situação da cana-de-açúcar desde sua origem até os dias atuais. Prossegue conceituando temas como a influência dos fatores abióticos na

cultura da cana-de-açúcar e a interação entre genótipo e ambiente – adaptabilidade e estabilidade, os quais serão utilizados na construção dos capítulos.

Foram desenvolvidos dois capítulos, no primeiro, analisa-se a adaptação de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio quanto à tolerância ao frio e a qualidade (maturação) através de avaliações a campo, nos ambientes de Porto Xavier, São Borja, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí e Santa Rosa, situados na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. No segundo, amplia-se o estudo através da avaliação do desempenho de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio quanto a sua produtividade, adaptabilidade e estabilidade nestes mesmos ambientes da região noroeste do estado.

Para que isto fosse alcançado, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar genótipos de cana-de-açúcar mais produtivos em cinco ambientes do Rio Grande do Sul;
- Quantificar o dano provocado por baixas temperaturas na cana-de-açúcar;
- Selecionar genótipos de cana-de-açúcar com maior eficiência do uso de radiação solar para produção de colmos;
- Verificar a interação entre genótipo e ambiente identificando a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos;
- Avaliar a qualidade de genótipos de cana-de-açúcar, através da maturação;
- Identificar ambientes mais produtivos e estáveis tanto para os genótipos de ciclo precoce quanto para os de ciclo médio-tardio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, semi-perene, pertencente a família Poaceae (Gramineae), tribo Andropogoneae, gênero *Saccharum* L.. Dentro deste gênero existem várias espécies, sendo as mais importantes: *S. officinarum* L. ($2n = 80$), *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl ($2n = 60-205$), *S. barberi* Jeswiet ($2n = 81-124$), *S. sinense* Roxb ($2n = 111-120$), *S. spontaneum* L. ($2n = 40-128$) e *S. edule* Hassk. ($2n = 60-80$) (MATSUOKA et al., 2005).

Conforme descrevem Matsuoka et al. (2005) e Cesnik; Miocque (2004) a cana-de-açúcar cultivada atualmente é um híbrido originado do cruzamento interespecífico entre duas espécies do gênero *Saccharum*: a *spontaneum*, rústica, vigorosa e adaptável, com alta capacidade de rebrote, perfilhamento e resistência a doenças, grande produção de fibra, mas com pequena produção de açúcar; com a *officinarum*, não tão rústica e adaptável, mas com uma grande produção de açúcar, o qual recebe a denominação de *Saccharum* spp. (TOPPA et al. 2010). Estes híbridos são chamados de cultivares ou variedades, atribuindo-os nomes compostos de siglas da instituição que efetuou o cruzamento, ano em que o mesmo foi realizado e o número sequencial das seleções, como por exemplo, RB855156, “RB” República Brasil, ano do cruzamento 1985, família 5156 (VERISSIMO, 2012).

A cultura é originalmente perene e, por possuir estrutura tipo rizoma sob o rés do chão, ela brota sempre que a parte aérea for cortada, sendo que essa nova brotação é conhecida como soqueira. Após o plantio a primeira vegetação é denominada cana-planta, enquanto as soqueiras são denominadas de cana primeira soca, segunda soca e assim por diante, conforme a sequência de colheitas. As soqueiras têm grande importância econômica, pois é delas que se retira o maior retorno econômico dessa cultura. No final do ciclo da cana-soca, o número de colmos acaba sendo maior do que na cana-planta, devido à maior velocidade de brotação e formação de perfilho e, além disso, a maturação das soqueiras se dá mais precocemente do que na cana-planta (MATSUOKA, 1996).

A cultura da cana-de-açúcar teve sua domesticação na Ásia e segundo Mattos (2009) provavelmente foi realizada por nativos da região da Indonésia e Nova Guiné, sendo usada tanto para construção de cercados quanto para a apreciação do seu caldo açucarado. É cultivada nas latitudes em torno de 35 °N a 30 °S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1000 m (MAGALHÃES, 1987), possuindo larga escala de adaptação suportando razoavelmente temperaturas elevadas entre 34,0 e 35,0 °C (BRUNINI, 2007).

Apesar de ser originária de regiões com alta disponibilidade térmica, radiação solar global e precipitação, adaptou-se a diversos climas, onde poderão ocorrer maiores ou menores restrições para sua produção (SUGUITANI, 2006).

No continente Americano a cultura da cana-de-açúcar foi introduzida por Cristóvão Colombo em 1493, na ilha espanhola que atualmente é a República Dominicana e Haiti. O genótipo introduzido foi, presumivelmente, um híbrido entre *S. barberi* e *S. officinarum*, difundindo-se do Haiti para Cuba, e posteriormente para Porto Rico, México, Colômbia, Peru e outros países do continente (FAUCONNIER; BASSEREAU, 1975).

No Brasil a cana-de-açúcar foi introduzida por Martin Afonso de Souza, em 1502, na capitania de São Vicente através de mudas provenientes da Ilha da Madeira (CESNIK; MIOCQUE, 2004), e sua expansão e produção crescem desde sua introdução no país.

A importância econômica da cana-de-açúcar deve-se a sua múltipla forma de uso, sendo utilizada na produção de açúcar para o consumo interno e exportação, gerando divisas para o país; para produção de etanol, o qual representa uma fonte renovável de combustível, contribuindo para diminuição no uso dos derivados do petróleo; para alimentação de ruminantes no período de estiagem; como matéria prima para a fabricação de rapadura, melado e aguardente e para alimentação humana, na forma de caldo. Além disso, seus resíduos possuem grande importância econômica, dentre esses o bagaço da cana que é produzido em grande quantidade, e utilizado como fonte de energia e o vinhoto que é utilizado como adubo para os canaviais (CAPUTO et al., 2008).

Dada a sua importância econômica, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ocupa lugar de destaque na agricultura, estando entre as espécies mais cultivadas no mundo, alcançando mais de 70 países, sendo os maiores produtores o Brasil, seguido da Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Austrália, Colômbia, Estados Unidos e Guatemala, os demais países tem menor representatividade (Figura 1).



Figura 1 - Participação dos países para produção mundial de cana-de-açúcar. Fonte: CIB, 2009.

A cultura abrange vários estados brasileiros, e a produção nacional pode ser dividida entre região Centro-Sul e Nordeste. Entre os maiores produtores estão os estados de São Paulo com 4.552,0 mil hectares da área plantada; Goiás com 818,4 mil hectares; Minas Gerais com 779,8 mil hectares; Mato Grosso do Sul com 654,5 mil hectares; Paraná com 586,4 mil hectares; Alagoas com 417,5 mil hectares e Pernambuco com 284,6 mil hectares (Figura 2). Estes sete estados são responsáveis por 91,9% da produção nacional, sendo que os demais estados produtores possuem áreas menores, representando 8,1% (CONAB, 2014).

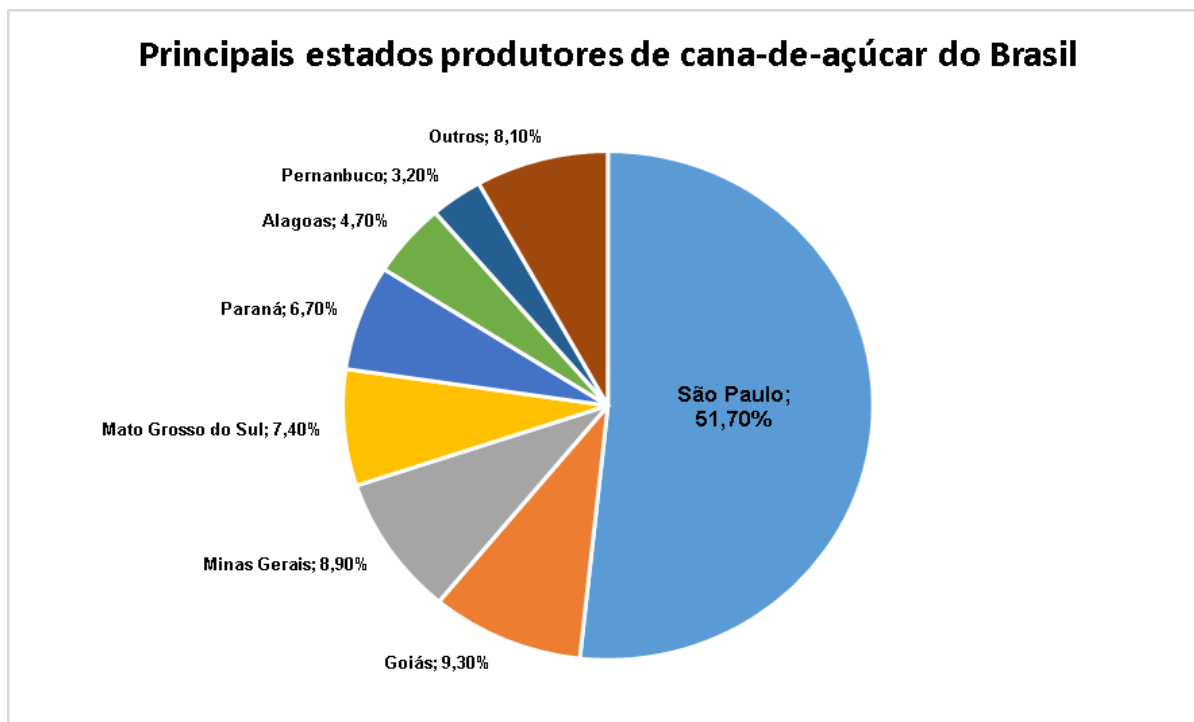


Figura 2 - Porcentagem da área plantada dos principais estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil. Fonte: CONAB, 2014.

A produção de cana-de-açúcar tem aumentado a cada ano, devido a implantação de novas unidades em vários estados brasileiros (FERNANDES JUNIOR et al., 2010), além do aumento da capacidade produtiva em decorrência do aperfeiçoamento dos sistemas de manejo e da seleção de variedades mais produtivas e adaptadas a cada ambiente de cultivo.

No Rio Grande do Sul, o cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido em 1725, nos municípios de Torres, Osório e Santo Antônio da Patrulha (SEPLAG, 2014).

O cultivo se estende pelo litoral norte, centro e norte-noroeste do Estado, sendo que os maiores produtores são os municípios de Roque Gonzales com 98.167 toneladas ano⁻¹ e Porto Xavier com 51.133 toneladas ano⁻¹, situados na região noroeste do estado (SEPLAG, 2014).

No estado a área cultivada é de aproximadamente 29 mil hectares, o que representa menos de 0,5% da área produzida a nível nacional (IBGE, 2014), entretanto, com o recente zoneamento agroecológico, o qual apontou 1,5 milhões de hectares com aptidão ao cultivo no RS (MANZATTO et al., 2010) situadas nas regiões da Depressão Central, Missões, Alto Uruguai e Litoral (Figura 3), tanto o estado quanto a cultura se tornam promissores, principalmente a região noroeste onde situam-se as principais usinas de processamento de cana-de-açúcar, o que

facilitaria o escoamento da produção, sendo assim mais uma fonte de renda para muitas famílias gaúchas.



Figura 3 - Zoneamento Agroecológico da cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.
 Fonte: MANZATTO, 2010.

A cana-de-açúcar é produzida no RS basicamente por agricultores familiares, principalmente por fatores de ordem econômica, socio-cultural e agrícola, aliadas a diferenciação mesoclimática, tipo de relevo, destino da produção e ao processo de colonização, características que vincularam o cultivo de cana-de-açúcar as propriedades agrícolas familiares gaúchas (SOARES, 2008). O estado tem importante participação na produção de derivados de cana-de-açúcar como: melado, rapadura e aguardente, com cerca de 40% do total de estabelecimentos produtores do Brasil situados no Rio Grande do Sul e provenientes de propriedades familiares (VERISSIMO, 2012).

A produtividade média do Rio Grande do Sul, 40 t ha^{-1} , é considerada baixa se comparada à produtividade média do país que é de 75 t ha^{-1} e de 82 t ha^{-1} em

São Paulo, estado maior produtor (CONAB, 2014), isso se dá pelo uso de variedades antigas e sem adaptação as condições climáticas do estado, além do manejo inadequado. No entanto, com o avanço das pesquisas realizadas pela Embrapa Clima Temperado e a identificação de novas variedades aptas para o cultivo no estado, as quais apresentam alta a média produtividade, elevado teor de sacarose, sanidade vegetal e tolerância aos estresses abióticos juntamente com as orientações necessárias de manejo, sinalizam para uma tendência de mudança deste cenário, fazendo com que o estado alcance produtividade próxima ou acima daquela registrada por São Paulo.

Neste contexto, apesar das restrições às áreas com risco de ocorrência de geadas e baixas temperaturas do inverno gaúcho, amplia-se a perspectiva para expansão e o desenvolvimento da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul.

2.2. Influência dos fatores abióticos na cultura da cana-de-açúcar

As variações diárias, sazonais e anuais nos valores dos elementos climáticos são de vital importância na determinação da eficiência do desenvolvimento e da produtividade dos vegetais cultivados. Essas variações podem estar adequadas às necessidades da cultura ou podem estar fora da normalidade habitual, acarretando em adversidades agroclimáticas e consequentes oscilações nos anos agrícolas (NOGUEIRA, 2011).

A cana-de-açúcar apresenta metabolismo fotossintético do tipo C₄, com alta eficiência na conversão de energia solar em energia química e maior captação de CO₂ da atmosfera, se adaptando a ampla variação de temperatura, intensidade luminosa e disponibilidade hídrica (SEGATO et al., 2006).

O crescimento desta cultura envolve vários componentes fisiológicos como o número de perfilhos, altura de colmo e densidade de colmos, os quais são características genéticas, mas que estão sujeitas a influência ambiental (SUGUITANI, 2006).

Conforme descrevem Brunini (2008) e Leite (2007) a cultura sofre grande influência das variáveis meteorológicas: temperatura do ar, radiação solar global e chuva, assim como a distribuição adequada desta última, desde o plantio até a colheita. Entretanto, os principais fatores ambientais que influenciam a produtividade

da cana-de-açúcar são a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica (VIANNA; SENTELHAS, 2014).

A temperatura do ar afeta vários processos metabólicos da planta, interferindo na demanda evapotranspirativa, e exercendo grande influência na produção da cana-de-açúcar, estimulando, reduzindo ou paralisando as atividades como crescimento vegetativo e acúmulo de sacarose, em função da sua intensidade e da época de ocorrência, sendo que a cultura apresenta variabilidade genética suficiente para permitir sua adaptação a uma grande amplitude térmica (CRISPIM et al., 2000).

A cana-de-açúcar é uma planta tipicamente tropical, necessitando de clima quente e úmido, com temperaturas oscilando entre 16,0 e 34,0 °C. A temperatura ideal situa-se entre 20,0 e 30,0 °C, sendo que nestas condições a cultura atinge seu máximo potencial. O crescimento é lento com temperaturas acima de 35,0 °C e nulo com temperaturas acima de 38,0 °C e abaixo de 16,0 °C (MARIN et al., 2009).

As temperaturas elevadas de verão, favoráveis ao crescimento da planta, e baixas de inverno, benéficas ao acúmulo de sacarose, devem ser alternadas para possibilitar maior produção (NOGUEIRA, 2011).

O cultivo de cana-de-açúcar é possível nas regiões de clima subtropical de inverno ameno e com boa disponibilidade térmica desde que não ocorram geadas letais precoces (MALUF et al., 2008). Vale ressaltar que a ocorrência de baixas temperaturas no Rio Grande do Sul normalmente fica restrita aos meses de inverno durante a maturação e colheita.

Um dos maiores problemas da cultura canavieira na região Centro-Sul é a ocorrência de geadas, tanto a “branca” como a “negra”. A geada branca ocorre quando o ponto de orvalho está abaixo de 0 °C, normalmente em condições de alta umidade relativa. Por outro lado, a geada negra ocorre quando, a temperatura é negativa e a umidade atmosférica muito baixa. A geada negra é mais severa que a branca, pois nesta última há a liberação de energia, que ocorre quando a água passa do estado líquido para o sólido, retardando o abaixamento da temperatura (RODRIGUES, 1995).

Diversos autores entre eles Grodzki et al. (1996); Wrege et al. (2005); Caramori et al. (2008); Almeida et al. (2009), sustentam que temperaturas mínimas no abrigo termométrico em torno de 3,0 °C representam na relva aproximadamente - 1,0 °C, apresentando condições favoráveis à formação de geada e com possíveis danos a cultura da cana-de-açúcar e a outras culturas tropicais, considerando-se o

tempo de permanência de baixa temperatura e o estágio de desenvolvimento da planta (PARANHOS, 1987).

Os danos nas folhas ocorrem com temperaturas entre -2,2 e -5,0 °C, ocasionando graves prejuízos ou morte das mesmas, na gema apical os danos ocorrem com temperaturas entre -1,0 e -3,3 °C, levando à morte, enquanto que as gemas laterais morrem com temperaturas em torno de -6,0 °C (BACCHI; SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1972), devido à grande sensibilidade da cultura ao frio (TAI; LENTINI, 1998).

Danos nas gemas apicais e laterais também foram relatados por Eggleston et al. (2004), porém com temperaturas variando entre -1,7 e -4,4 °C.

No caso de geadas intensas, ocorre a morte das gemas dos colmos, acarretando em dano mais intenso conforme o maior número de gemas atingidas, resultando em invasão por patógenos, redução de sacarose e pureza, além do aumento de acidez do caldo (MARIN et al., 2009).

Temperaturas de congelamento danificam colmos maduros antes da colheita, reduzindo o acúmulo de açúcar, e podem prejudicar as brotações da cana planta e das soqueiras (VERISSIMO, 2012).

Em relação ao consumo de água da cultura da cana-de-açúcar, Teramoto (2003) relata que a umidade é o principal fator causador da variabilidade anual da sua produção e produtividade. Segundo Pimentel (2004); Flexas et al. (2006) a baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade.

Impactos negativos na produtividade e qualidade dos canaviais são desencadeados por baixos volumes de chuvas, especialmente pela irregularidade de distribuição desta, pois restringem o crescimento da cultura (WIEDENFELD; ENCISO, 2008).

A disponibilidade de água no solo condiciona a produção vegetal, de maneira que sua deficiência ou excesso podem influenciar, de modo decisivo, o desenvolvimento das plantas, alterando a absorção de nutrientes e da própria água (REICHARDT, 1996).

Durante o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, o estresse hídrico restringe os processos fisiológicos, como a divisão celular e sua alongação, com consequentes diminuições na taxa de acúmulo de matéria seca, no índice de área foliar e na taxa de alongação da cultura (INMAN-BAMBER, 2004).

O alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER et al., 2008).

A deficiência hídrica também causa grande senescência foliar e restringe o surgimento de novas folhas, sendo que o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo cultivado (SMIT; SINGELS, 2006).

A maior suscetibilidade ao déficit hídrico se dá no surgimento e alongamento de entrenós, onde se acumula 75% da fitomassa total, ocorrendo quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera (PIRES et al., 2008), com consequente queda na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose (SILVA; COSTA, 2004).

As reações bioquímicas da fotossíntese podem ser afetadas com o agravamento do déficit hídrico, o que causa limitações de origem não estomática como crescimento e alongamento celular, atividade de enzimas e teor de clorofilas, em condição de déficit máximo (CORNIC et al., 1992).

Após o estresse hídrico alguns genótipos de cana-de-açúcar mostram rápida recuperação (LANDELL et al., 2005), sendo que a tolerância à seca é condicionada por mecanismos fisiológicos capazes de promover algum crescimento da planta em condição restritiva, como o fechamento estomático e a manutenção da atividade fotossintética (MACHADO et al., 2009).

Para a cana-de-açúcar, chuva anual a partir de 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções (ALMEIDA et al., 2008). Conforme descrevem Cuenca; Nazário (2005) os totais pluviométricos anuais exigidos pela cultura para os climas tropicais e subtropicais é de um mínimo de 1200 mm e para Doorenbos; Kassam (1994) a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de 1500 mm a 2500 mm. Diante destas informações tem-se a premissa que a quantidade de chuva anual adequada para cultura da cana-de-açúcar é bastante variável, sendo que esta é altamente dependente da evapotranspiração da cultura e também de outros fatores ambientais para que seja considerada ideal, não devendo faltar umidade no solo, principalmente durante o crescimento vegetativo e posteriormente a colheita, quando ocorre maior exigência de água pela cultura.

A temperatura do ar interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas responsáveis pela divisão, diferenciação e crescimento celular,

sendo um dos fatores ambientais que mais influenciam na brotação da cana-de-açúcar (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2008).

Para a brotação das gemas nos toletes as temperaturas devem variar de 26,0 a 33,0 °C, já com temperaturas abaixo dos 13,0 °C ou superiores a 40,0 °C a germinação cessa, e para o crescimento das raízes as temperaturas devem estar acima dos 21,0 °C (CRISPIM, 2006).

A temperatura ótima para a brotação das gemas segundo Casagrande; Vasconcelos (2008) compreende os valores entre 30,0 e 33,0 °C, enquanto que as temperaturas abaixo de 21,0 °C tornam a brotação lenta, assim temperaturas elevadas acima dos 21,0 °C acabam aumentando progressivamente a brotação, até que sejam atingidas as temperaturas ótimas.

Além da temperatura, a falta ou o excesso de água também podem trazer problemas nesta fase (SEGATO, 2006), sendo que outros fatores como doenças e o manejo inadequado podem influenciar na brotação das gemas.

A brotação das gemas da cana-de-açúcar constitui-se na fase mais crítica, tanto em relação ao excesso como a deficiência hídrica (ARGENTON, 2006). Em condições de solo muito seco, a embebição dos toletes e o consequente intumescimento das gemas são desfavorecidos, o que resulta no atraso da brotação e do perfilhamento, favorecendo as plantas concorrentes na competição com a cultura da cana-de-açúcar (CÂMARA, 1993). A umidade ideal do solo para brotação das gemas vai depender do tipo de solo e das suas principais características físicas como densidade, aeração e condutividade hídrica (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2008).

Diversos fatores como variedade, radiação solar global, temperatura e umidade do solo influenciam o perfilhamento da cana-de-açúcar (JADOSKI et al., 2010).

Para o perfilhamento a temperatura ideal pode variar entre 27,0 e 32,0 °C, sendo que temperaturas acima de 45,0 °C e abaixo de 5,0 °C, praticamente cessam o processo (SUGUITANI, 2006).

Para atingir um maior perfilhamento a cana-de-açúcar necessita de temperaturas elevadas de até 30,0 °C (CASAGRANDE, 1991). Por outro lado, Inman-Bamber (1994) verificou que temperaturas próximas aos 16,0 °C levam a uma estabilização no número de perfilhos.

O maior número de perfilhos vai depender também da intensidade luminosa, quanto maior a luz incidente sobre a planta, maior a densidade de perfilhos (VIANNA, 2014), sendo que a cana-de-açúcar apresenta colmos mais grossos, folhas longas e verdes e perfilhamento intenso, se houver altas taxas de radiação solar global (RODRIGUES, 1995).

O crescimento dos entrenós dos colmos é favorecido por temperaturas do ar superiores a 20,0 °C (CRISPIM, 2006).

A deficiência hídrica reduz o número de entrenós em genótipos de cana-de-açúcar, sendo que umidade do solo adequada e temperatura próxima aos 30,0 °C favorecem a extensão dos entrenós (MACHADO et al., 2009).

Tanto a falta quanto o excesso de água no solo causam a diminuição da área foliar da cana-de-açúcar nas fases de estabelecimento e de crescimento vegetativo, afetando também a duração dos estádios fenológicos (MAULE et al., 2001).

Para atingir elevada produção de sacarose nos colmos, a cultura necessita de temperatura do ar e umidade do solo adequadas que permitam o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de restrição térmica ou hídrica que estimulam o repouso fisiológico e favorecem o maior acúmulo de sacarose nos colmos na época do corte (ANDRADE, 2006).

O início da fase de maturação pode ser estimulado pela queda de temperatura, sendo necessário que a temperatura média diária fique abaixo de 21,0 °C, ocorrendo repouso fisiológico e aumento na concentração de sacarose (CÂMARA, 1993). Essas condições térmicas são observadas no estado do Rio Grande do Sul, durante o outono-inverno, já em outros estados fora da região sul, como São Paulo e Alagoas, a maturação é estimulada por um período de restrição hídrica, a qual cessa o crescimento vegetativo e promove o acúmulo de sacarose, sendo necessários suprimentos hídricos adequados durante o desenvolvimento vegetativo principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Em geral, para maturar a cana-de-açúcar necessita de um período de restrição térmica ou hídrica, pois se não houver nenhuma dessas duas, a planta continuará crescendo vegetativamente, sem que ocorra a maturação (MARQUES et al., 2007).

Para atingir um bom desenvolvimento vegetativo, com alta produção de sacarose, a cana-de-açúcar necessita de períodos com alta radiação solar e umidade no solo (WREGE, 2004).

A cana-de-açúcar apresenta um ponto lumínico elevado, ou seja, quanto maior for a saturação luminosa, maior será a fotossíntese realizada pela planta e maior será o acúmulo de açúcar (ARGENTON, 2006).

O somatório das quedas gradativas da temperatura juntamente com a diminuição e a falta de chuvas reduz e/ou inibe o desenvolvimento vegetativo da planta, enquanto o processo de fotossíntese continua ocorrendo normalmente, com a produção de sacarose, a qual é transportada e armazenada no vacúolo das células parenquimáticas nos entrenós do colmo (GHELLER, 2001).

O ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar deve proporcionar um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante a fase de crescimento, seguido de um período seco e frio durante as fases de maturação e colheita (MAGALHÃES, 1987; ALFONSI, 2000; BRUNINI, 2008).

2.3. Interação entre Genótipo e Ambiente - adaptabilidade e estabilidade fenotípica

As condições edafoclimáticas, associadas às práticas culturais, a ocorrência de doenças e outras variáveis que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, são coletivamente denominadas ambiente (BOREM; MIRANDA, 2005).

O ambiente também pode ser definido como o conjunto das interações das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas de superfície e sub-superfície dos solos com as condições meteorológicas como temperatura do ar, chuva, radiação solar global, evaporação, entre outras (PRADO, 2011).

De maneira geral, toda mudança que ocorre de forma intra ou extracelular influencia a expressão do genótipo e é entendida como ambiente, recebendo assim, o nome de interação genótipo x ambiente, facilmente detectada, quando se considera uma série de ambientes (CRUZ; REGAZZI, 2004).

O ambiente tem grande importância no processo de melhoramento genético, devido à influência que este exerce sobre cada genótipo ou variedade (FARIA, 2012)

A interação entre genótipo e ambiente refere-se à alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude das diferenças de ambiente (GUERRA, 2010), constituindo-se em um dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, tanto na fase de seleção como na recomendação de cultivares.

A interação entre genótipo e ambiente é verificada com maior frequência em caracteres de natureza quantitativa, que são controlados por vários genes e são fortemente influenciados pelo ambiente, sendo que no caso particular da cana-de-açúcar, normalmente, são esses os caracteres de maior interesse, como por exemplo, a produção de colmos e de açúcar (BERNARDO, 2002; ARANTES, 2013).

Nas fases iniciais dos programas de melhoramento, a presença de interação pode elevar as estimativas de variância genética, resultando em super estimativas dos ganhos genéticos esperados, já nas fases finais dos programas, os ensaios são conduzidos em vários ambientes (locais, anos e/ou épocas), possibilitando assim o isolamento deste componente de variabilidade (GUERRA, 2010). A presença de interação, na maioria das vezes faz com que os melhores genótipos num local não sejam necessariamente em outros, dificultando a recomendação de novas variedades para todos os ambientes avaliados. Por outro lado, interações positivas associadas a características previsíveis de um determinado ambiente oferecem oportunidade de rendimentos mais elevados, aproveitando-se assim esta interação (DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

Efeitos significativos de interações entre genótipo e ambiente elevam o grau de dificuldade no sentido de identificar genótipos superiores com ampla adaptabilidade na seleção e indicação de cultivares. Guerra (2010) comenta que se a interação entre genótipo e ambiente for significativa, deve-se proceder à análise de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, utilizando-se uma das várias metodologias propostas, conforme o objetivo do programa de melhoramento.

Para minimizar os efeitos da interação entre genótipo e ambiente, visando obter maior segurança na seleção e na indicação de cultivares, recomenda-se avaliar os genótipos no maior número de ambientes possível, avaliando-se a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares (CRUZ et al., 2004; SILVA; DUARTE, 2006).

A identificação de genótipos, que apresentem boa adaptabilidade geral, ou seja, genótipos que possuem alta estabilidade fenotípica, capazes de produzir bem sob diferentes condições do ambiente, com grandes flutuações estacionais, são

amplamente empregados para reduzir o efeito da interação entre genótipo e ambiente, podendo ser utilizada em diferentes situações (CRUZ; REGAZZI, 2001).

A adaptabilidade é a capacidade dos genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto a estabilidade é a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais (FERNANDES JUNIOR et al., 2013; CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Quando um genótipo não possui um comportamento previsível em relação aos ambientes de teste, pode eventualmente ter resposta favorável a ambientes específicos (adaptabilidade preferencial ou específica para determinados ambientes), o que sugere, para esse caso, seleção regional ou para locais específicos (ARANTES, 2013).

Uma das alternativas para minimizar esse problema é a escolha de variedades com ampla adaptação e boa estabilidade, o que pode ser realizado através de diversas metodologias (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Entre as metodologias mais utilizadas estão às análises de regressão linear, regressão não linear, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas, sendo que as preferidas pelos pesquisadores são aquelas que permitem fácil interpretação dos resultados, juntamente com a possibilidade de identificação de genótipos superiores com seus respectivos graus de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (BASTOS et al., 2007; NASCIMENTO FILHO et al., 2009).

O método de aplicação mais recente no Brasil é a chamada análise AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*), utilizando-se um modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (FERNANDES JUNIOR et al., 2013). Este método combina um método univariado para os efeitos aditivos de genótipos e ambientes, com um método multiplicativo para os efeitos da interação entre genótipo e ambiente (ZOBEL et al., 1988). A análise AMMI auxilia tanto na identificação de genótipos adaptados e altamente produtivos como na realização de zoneamento agrônomo para recomendação regionalizada de genótipos e seleção de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996).

A classificação dos genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade, não depende da metodologia utilizada, sendo que as informações obtidas nos ensaios permitem classificar os genótipos, identificando os mais apropriados para determinada condição ambiental ou região (ROSSE et al., 2002).

Uma variedade ideal segundo Silva (2008) é aquela que apresenta elevada média de produtividade, com baixo grau de flutuação de seu desempenho quando cultivada em diferentes condições ambientais.

De maneira geral, para os produtores de cana-de-açúcar o resultado mais interessante é que a nova cultivar seja confiável o suficiente e capaz de atingir produtividades superiores para substituir a cultivar que está sendo utilizada (LAVORENTI; MATSUOKA, 2001).

3. METODOLOGIA GERAL

As avaliações de desempenho agrônômico, quanto à produção, tolerância ao frio e qualidade (maturação) foram realizadas em 26 genótipos, sendo 12 de maturação precoce e 12 de maturação médio-tardia, e duas testemunhas para os respectivos ciclos (Tabela 1), em nove ambientes no estado do Rio Grande do Sul durante as safras 2012/13 e 2013/14 (Tabela 2).

Estes experimentos fazem parte da Rede de Ensaios de Desempenho de Genótipos e Variedades de Cana-de-açúcar, coordenados pela Embrapa Clima Temperado, juntamente com instituições parceiras. Os genótipos e variedades avaliados foram desenvolvidos pela RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético) e disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da UFPR.

Tabela 1 - Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados em nove ambientes do estado do Rio Grande do Sul.

ID	GENÓTIPO	CICLO	ID	GENÓTIPO	CICLO
G1	RB006996	P	G14	RB005003	M-T
G2	RB036145	P	G15	RB005014	M-T
G3	RB036152	P	G16	RB005017	M-T
G4	RB005935	P	G17	RB006624	M-T
G5	RB015868	P	G18	RB937570	M-T
G6	RB015895	P	G19	RB965560	M-T
G7	RB016910	P	G20	RB975290	M-T
G8	RB016916	P	G21	RB995431	M-T
G9	RB016918	P	G22	RB996519	M-T
G10	RB985867	P	G23	RB996527	M-T
G11	RB855156*	P	G24	RB996532	M-T
G12	RB975932	P	G25	RB867515*	M-T
G13	RB016913	P	G26	RB92579	M-T

A denominação “G” indica a identificação (ID) do genótipo; “P” genótipos de ciclo precoce e “M-T” genótipos de ciclo médio-tardio. *Variedades consideradas testemunhas.

O clima da região que abrange os ambientes analisados é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). Neste tipo de clima a temperatura é moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas, sendo a média de temperatura neste período inferior a 16,0 °C. No mês mais quente as máximas são superiores a 30,0 °C.

Tabela 2 - Ambiente, safra, ciclo de cultivo e coordenadas geográficas dos nove ambientes de testes com a cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.

ID	AMBIENTE	SAFRA	CICLO	LAT. (S)	LONG. (O)	ALT. (m)
A1	Porto Xavier	2012/13	Planta	27° 53' 20"	55° 10' 59"	125
A2	Porto Xavier	2013/14	1° soca	27° 53' 20"	55° 10' 59"	125
A3	Salto do Jacuí	2012/13	Planta	29° 0' 30"	53° 13' 48"	361
A4	Salto do Jacuí	2013/14	1° soca	29° 0' 30"	53° 13' 48"	361
A5	São Luiz Gonzaga	2012/13	Planta	28° 22' 09"	54° 54' 54"	225
A6	São Luiz Gonzaga	2013/14	1° soca	28° 22' 09"	54° 54' 54"	225
A7	Santa Rosa	2012/13	Planta	27° 50' 31"	54° 26' 50"	342
A8	Santa Rosa	2013/14	1° soca	27° 50' 31"	54° 26' 50"	342
A9	São Borja	2013/14	1° soca	28° 41' 48"	55° 57' 58"	97

A denominação "A" indica ambiente, "ID" identificação, "LAT (S)" latitude sul, "LONG (O)" longitude oeste e "ALT (m)" altitude em metros.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de quatro a seis linhas de 10 metros de comprimento, espaçadas 1,40 m entre linhas, com densidade de plantio de 18 gemas por metro. A implantação, condução e avaliação dos experimentos foram realizadas conforme Zambon; Daros (2005).

No pré-plantio, o preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens e em seguida a formação dos sulcos, com profundidade de 20 a 40 cm e espaçamento entre sulcos de 1,40 m.

O plantio dos ensaios foi realizado na segunda quinzena de agosto de 2012. No plantio, as canas foram deixadas inteiras, e com palha, dentro do sulco, sempre na disposição "pé com ponta". Em seguida os colmos foram cortados em toletes de três gemas cada. Os sulcos foram cobertos com aproximadamente 10 cm de solo. A colheita da cana planta foi realizada entre julho e setembro de 2013 e da cana 1° soca em julho de 2014, quando os genótipos apresentavam o índice de maturação entre 0,85 e 1,0, sendo este o índice de cana madura (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

A adubação foi realizada, com a utilização de 60 kg de N ha⁻¹, 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 120 kg de K₂O ha⁻¹ em adubação de base e em cobertura aos 120 dias após o plantio foram utilizados 90 kg de N ha⁻¹. A adubação de manutenção foi realizada 45 dias após a colheita com 30 kg de N ha⁻¹, 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹.

O controle das plantas concorrentes foi realizado conforme a necessidade, utilizando cultivador mecânico e herbicida recomendados para a cultura.

A avaliação dos genótipos foi realizada a campo de acordo com as variáveis de interesse para o estudo em cana planta (safra 2012/13) e cana 1° soca (safra 2013/14).

As variáveis avaliadas para o estudo da interação entre genótipo e ambiente foram tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs).

Para produtividade de colmos, expressa em TCH e calculada através da equação:

$$TCH = (P10C/10) \times NCM \times (10/E). \quad (1)$$

em que: P10C é a massa de 10 colmos (kg); NCM é o número de colmos por metro; e E é o espaçamento (1,4 m), foi realizada a contagem do número de colmos nas linhas de avaliação, com posterior corte de dez colmos e pesagem com auxílio de balança suspensa.

O parâmetro utilizado na avaliação de qualidade (maturação) dos genótipos foi o teor de sólidos solúveis totais (SST), medido em °Brix. As avaliações de sólidos solúveis totais (SST) foram realizadas no momento da colheita em três diferentes colmos, com amostragem em dois pontos por colmo, no terceiro entre nó abaixo do ponto de quebra do palmito e no terceiro entre nó acima do solo, com utilização de um calador (coleta) e leitura em refratômetro digital portátil marca Atago® modelo Pal-1, com compensação automática da temperatura, as quais foram utilizadas para o cálculo da produtividade de açúcar, obtida através da equação:

$$TSSTH = (\text{valor médio do SST} \times TCH)/100. \quad (2)$$

A eficiência do uso de energia solar em produção foi obtida através da equação:

$$Ef Rs = (TCH/RAD). \quad (3)$$

onde: RAD é a radiação solar global acumulada da emergência a colheita.

A avaliação dos genótipos quanto a tolerância ao frio foi realizada com base no parâmetro nível de dano na gema apical (NDGA), atribuindo-se notas de 1 a 5,

conforme a escala proposta para avaliação. Foram amostrados três diferentes colmos, através do corte transversal de três gemas por parcela, em três parcelas por genótipo totalizando nove amostras.

Os dados meteorológicos de temperatura do ar, chuva e radiação solar global utilizados no trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - 8º Distrito de meteorologia. A localização das estações meteorológicas esta descrita na Tabela 3.

Tabela 3 – Local, código e coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa, safra 2012/13 e 2013/14.

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS					
LOCAL	CÓD. INMET	LAT. (S)	LONG. (O)	ALT. (m)	DIST. EXP. (km)
São Borja-RS	A830	28° 39' 00"	56° 00' 58"	81	7,8
Cruz Alta-RS*	A853	28° 36' 12"	53° 40' 25"	427	62,0
São Luiz Gonzaga-RS	A852	28° 25' 01"	54° 57' 44"	246	7,1
Santa Rosa-RS	A810	27° 53' 26"	54° 28' 48"	273	6,5

*Salto do Jacuí-RS; "LAT (S)" latitude sul; "LONG (O)" longitude oeste; "ALT (m)" altitude em metros; "DIST. EXP" distância da estação meteorológica para o experimento. Fonte: INMET - 8º Distrito de meteorologia.

Os dados meteorológicos de Porto de Xavier utilizados no trabalho foram coletados no site de previsão do tempo AccuWeather.com, onde a obtenção dos dados é realizada via satélite.

Os dados fenométricos e de qualidade da cultura e os dados meteorológicos foram organizados em planilhas eletrônicas, e as análises de variância, análise AMMI e os gráficos biplot foram realizados por meio do programa estatístico SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2009).

4. CAPÍTULO 1. Tolerância ao frio e qualidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul

4.1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar é fortemente influenciada pelas variações meteorológicas ao longo de todo seu ciclo vegetativo, interferindo diretamente na fase de maturação, sendo que os principais fatores ambientais que influenciam a produtividade da cana-de-açúcar são a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica (VIANNA; SENTELHAS, 2014). Para o crescimento, o desenvolvimento e o maior acúmulo de sacarose é de grande importância que as exigências climáticas da cultura sejam atendidas, com condições térmicas e hídricas adequadas durante o ciclo vegetativo, e um período de restrição térmica e hídrica que promova a maturação, garantindo bons níveis de sacarose no momento do corte (CARDOZO; SENTELHAS, 2013), sendo que essas restrições não deverão ser excessivas, pois poderão limitar a produção geral do canavial.

No estado do Rio Grande do Sul o clima já foi apontado como fator limitante para expansão da cultura da cana-de-açúcar, devido à ocorrência de temperaturas baixas com grande risco de ocorrência de geadas (ALMEIDA et al., 2008). As geadas podem causar danos severos a cultura como perda de sacarose e diminuição da produtividade (EGGLESTON; LEGENDRE, 2003; SOUZA et al., 2011), visto que a intensidade e o tempo de exposição podem ocasionar a morte do meristema apical através do congelamento das células e, com isso perda de qualidade do produto final. Portanto, a geada é o fator de risco mais importante para as culturas na Região Sul do Brasil (CUNHA, 2003).

A cana-de-açúcar é muito sensível à geada, principalmente as gemas apicais e laterais, e as folhas jovens (MARIN et al., 2009). As gemas apicais morrem com temperaturas em torno de -1,0 a -3,3 °C, enquanto as gemas laterais com temperaturas em torno de -6,0 °C, já as folhas jovens são danificadas ou morrem com temperaturas de -2,2 a -5,0 °C (BACCHI; SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1972).

A suscetibilidade desta cultura a injúrias como morte das gemas apicais e laterais e morte de folhas jovens provocadas por baixas temperaturas, incluindo o resfriamento (baixas temperaturas acima de 0 °C) e principalmente o congelamento (temperaturas abaixo de 0 °C induzindo formação de gelo extracelular) é um fator limitante para o seu desenvolvimento, produtividade e distribuição geográfica, acarretando em perdas econômicas e dificuldades de expansão da cultura (XIN; BROWSE, 2000).

Na cultura da cana-de-açúcar os estudos estão voltados principalmente para a tolerância ao déficit hídrico e a tolerância ao frio, sendo que a seca na região Central e o frio nos estados do Sul são os principais estresses climáticos enfrentados pela cultura no Brasil (VERISSIMO, 2012).

Testes utilizados na avaliação de tolerância ao frio de variedades e genótipos promissores são comumente realizados na Austrália (WEAICH et al. 1993), na África do Sul (VAN HEERDEN et al., 2009) e nos EUA (HALE et al., 2011; LEGENDRE et al., 2011). Entretanto no Brasil, são poucos os trabalhos realizados relacionados a tolerância ao frio de variedades e genótipos de cana-de-açúcar. Foram realizadas avaliações em variedades cultivadas na década de 70 por Brinholi (1972), porém atualmente estas estão ultrapassadas, sendo assim de grande importância avaliações de tolerância ao frio em novas variedades e genótipos.

Um dos métodos utilizados para avaliação de tolerância dos genótipos ao frio é o nível de dano das gemas apicais dos colmos, realizado através de avaliações visuais, atribuindo-se notas para os danos. Para avaliação de qualidade do canavial através da maturação podem ser utilizados os parâmetros teor de sólidos solúveis totais (SST), Pol (%) do caldo, açúcares totais recuperáveis (ATR) e açúcares redutores (AR) entre outros (FERNANDES, 2003), sendo o SST, medido em °Brix, o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e do álcool, em razão da sua praticidade (VERISSIMO, 2012).

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio quanto a tolerância ao frio e qualidade na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

4.2. Material e métodos

As avaliações de tolerância ao frio e sólidos solúveis totais (SST) de 26 genótipos, sendo 12 de maturação precoce e 12 de maturação médio-tardia, e suas respectivas testemunhas (Tabela 1), foram realizadas em cinco locais do estado do Rio Grande do Sul, cultivados em cana-planta e cana 1° soca. Foram analisados os dados de tolerância ao frio e sólidos solúveis totais (SST), das safras 2012/13 (cana planta) e 2013/14 (cana 1° soca), originados de experimentos de avaliação de genótipos de cana-de-açúcar, implantados pela Embrapa Clima Temperado, desenvolvidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa) e disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal do Paraná, situados nos municípios de: Porto Xavier (PXV) – coordenadas (27°53'S, 55°10'W – altitude 125 m), Salto do Jacuí (SJC) – coordenadas (28°00'S, 53°13'W – altitude 361 m), São Luiz Gonzaga (SLG) – coordenadas (28°22'S, 54°54'W – altitude 225 m), Santa Rosa (SRO) – coordenadas (27°50'S, 54°26'W – altitude 342 m) e São Borja (SBO) – coordenadas (28°41'S, 55°57'W – altitude 97 m).

Tabela 1 - Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados em nove ambientes do estado do Rio Grande do Sul.

ID	GENÓTIPO	CICLO	ID	GENÓTIPO	CICLO
G1	RB006996	P	G14	RB005003	M-T
G2	RB036145	P	G15	RB005014	M-T
G3	RB036152	P	G16	RB005017	M-T
G4	RB005935	P	G17	RB006624	M-T
G5	RB015868	P	G18	RB937570	M-T
G6	RB015895	P	G19	RB965560	M-T
G7	RB016910	P	G20	RB975290	M-T
G8	RB016916	P	G21	RB995431	M-T
G9	RB016918	P	G22	RB996519	M-T
G10	RB985867	P	G23	RB996527	M-T
G11	RB855156*	P	G24	RB996532	M-T
G12	RB975932	P	G25	RB867515*	M-T
G13	RB016913	P	G26	RB92579	M-T

A denominação “G” indica genótipo, “P” genótipos de ciclo precoce e “M-T” genótipos de ciclo médio-tardio. *Variedades consideradas testemunhas.

O parâmetro utilizado para a avaliação da qualidade (maturação) foi o teor de sólidos solúveis totais (SST), medido em °Brix. Os teores de sólidos solúveis totais (SST) foram analisados pela porcentagem de caldo em refratômetro digital, marca Atago® modelo Pal-1, com compensação automática da temperatura. O SST, medido em °Brix é o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e do álcool. O qual expressa à porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis totais contidos em uma solução (FERNANDES, 2003), ou seja, mede indiretamente o teor de sacarose na solução.

As avaliações de SST foram realizadas no momento da colheita tanto para os genótipos de ciclo precoce quanto para os de ciclo médio-tardio. Foram amostrados três diferentes colmos por parcela, com leitura do SST do caldo em dois pontos por colmo, terceiro entrenó abaixo do ponto de quebra do palmito e terceiro entrenó acima do solo.

O parâmetro utilizado para avaliação de tolerância dos genótipos ao frio foi o nível de dano na gema apical (NDGA).

As avaliações dos genótipos quanto a tolerância ao frio foram realizadas no momento da colheita de maneira visual, atribuindo-se notas de 1 a 5 para gema apical conforme a escala proposta para esta avaliação (Figura 1).

Foram amostrados três diferentes colmos, através do corte transversal de três gemas por parcela, em três parcelas por genótipo totalizando nove amostras.

A colheita da cana planta foi realizada entre julho e setembro de 2013 e da cana 1º soca em julho de 2014, quando os genótipos apresentavam o índice de maturação entre 0,85 e 1,0, sendo este o índice de cana-de-açúcar madura (CESNIK; MIOCQUE, 2004), o índice de maturação é calculado através da equação:

$$IM = \frac{SST_s}{SST_i} \quad (1)$$

onde: IM é o índice de maturação; SST refere-se aos Sólidos Solúveis Totais na parte superior (s) e inferior (i) do colmo.

Os dados diários de temperatura do ar utilizados no trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - 8º Distrito de meteorologia.

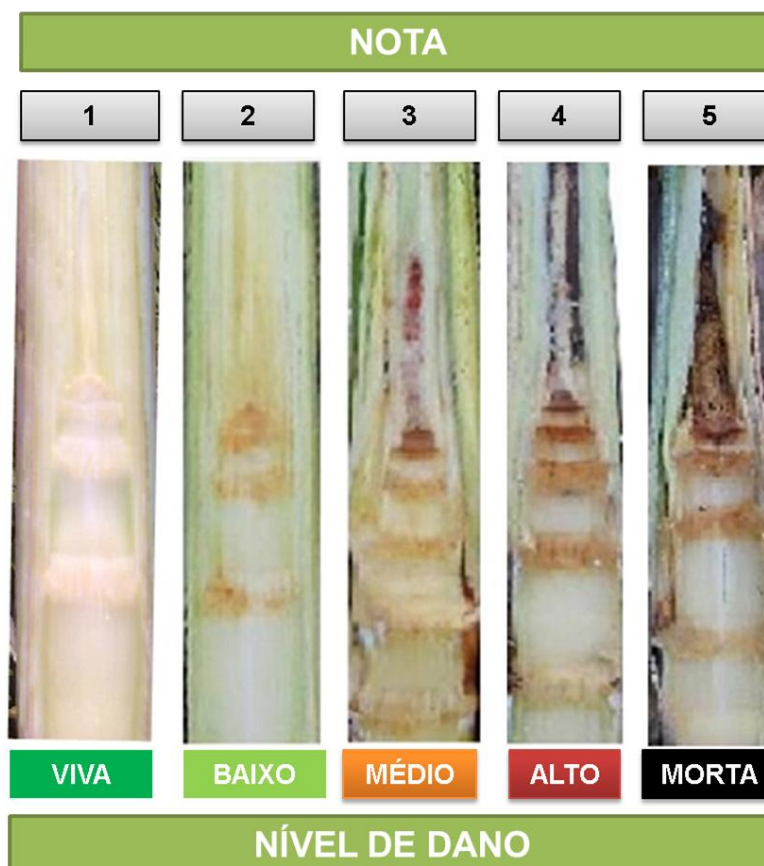


Figura 1 - Escala de notas para danos em gema apical na cultura da cana-de-açúcar.

A análise estatística foi realizada com auxílio do software SAS 9.2, onde se obteve a análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias dos tratamentos pelo teste F e teste de Duncan a 5% de probabilidade (SAS INSTITUTE, 2009).

4.3. Resultados e discussão

As temperaturas médias do ar estiveram dentro da faixa considerada ótima para o crescimento vegetativo da cultura que varia de 20,0 a 30,0 °C preconizada por Marin et al. (2009), principalmente entre os meses de outubro e fevereiro, na safra 2012/13 (cana planta) e entre os meses de novembro e fevereiro, na safra 2013/14 (cana 1° soca), com queda gradativa das temperaturas médias a partir do mês de março até a colheita, favorecendo a maturação da cana-de-açúcar nas duas safras avaliadas (Figura 2 A e B). Os ambientes que apresentaram o maior número de dias com temperaturas médias dentro da faixa ótima na safra 2012/13 (cana planta) com exceção de Porto Xavier, onde não foram obtidos os dados referentes ao período compreendido entre setembro e dezembro de 2012, foram São Luiz

Gonzaga e Santa Rosa com 62,1 e 57,6% dos dias da safra com estas temperaturas, respectivamente. Na safra 2013/14 (cana 1° soca) os ambientes que apresentaram o maior número de dias com temperaturas médias dentro da faixa ótima foram Porto Xavier e São Borja com 71,8 e 59,2% dos dias da safra com estas temperaturas, respectivamente. Com a presença de temperaturas dentro desta faixa ocorrem maior crescimento vegetativo e maior produção de biomassa da cultura devido ao aumento da fotossíntese líquida, o que é ocasionado em virtude da maior fotossíntese bruta produzida pela cultura e pela redução da respiração nesta condição.

Em geral as temperaturas máximas do ar praticamente não ultrapassaram os limites térmicos da cultura na safra 2012/13 (cana planta), no entanto, foram observadas temperaturas acima de 35,0 °C em São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Porto Xavier e Salto do Jacuí, as quais segundo Marin et al. (2009) são suficientes para causar estresse térmico a cultura. Também foram verificadas temperaturas acima de 38,0 °C em Porto Xavier e São Luiz Gonzaga, onde o crescimento da cultura de acordo com Marin et al. (2009) é praticamente nulo (Figura 2 C).

Na safra 2013/14 (cana 1° soca) as temperaturas máximas do ar também estiveram em grande parte abaixo dos limites térmicos da cultura, entretanto, houve um maior número de dias com ocorrência de temperaturas acima dos limites tolerados pela cultura em relação à safra anterior, foram observadas temperaturas acima de 35,0 °C em Porto Xavier, São Luiz Gonzaga, São Borja, Santa Rosa e Salto do Jacuí, além de temperaturas acima de 38,0 °C em São Borja, Porto Xavier, Santa Rosa e Salto do Jacuí (Figura 2 D). Quando os limites térmicos da cultura são excedidos com temperaturas acima dos 35,0 °C há uma tendência de aumento na taxa respiratória, o que ocasiona a diminuição da fotossíntese líquida, nesta situação segundo Marin et al. (2009) o crescimento da cultura torna-se lento, enquanto que com temperaturas acima de 38,0 °C a fotossíntese líquida é nula ou até mesmo negativa, pois a taxa respiratória é equivalente ou maior que a fotossíntese bruta produzida pela cultura, o que segundo Marin et al. (2009) faz com que o crescimento da cultura seja praticamente nulo, acarretando nestas duas situações queda de produtividade final.

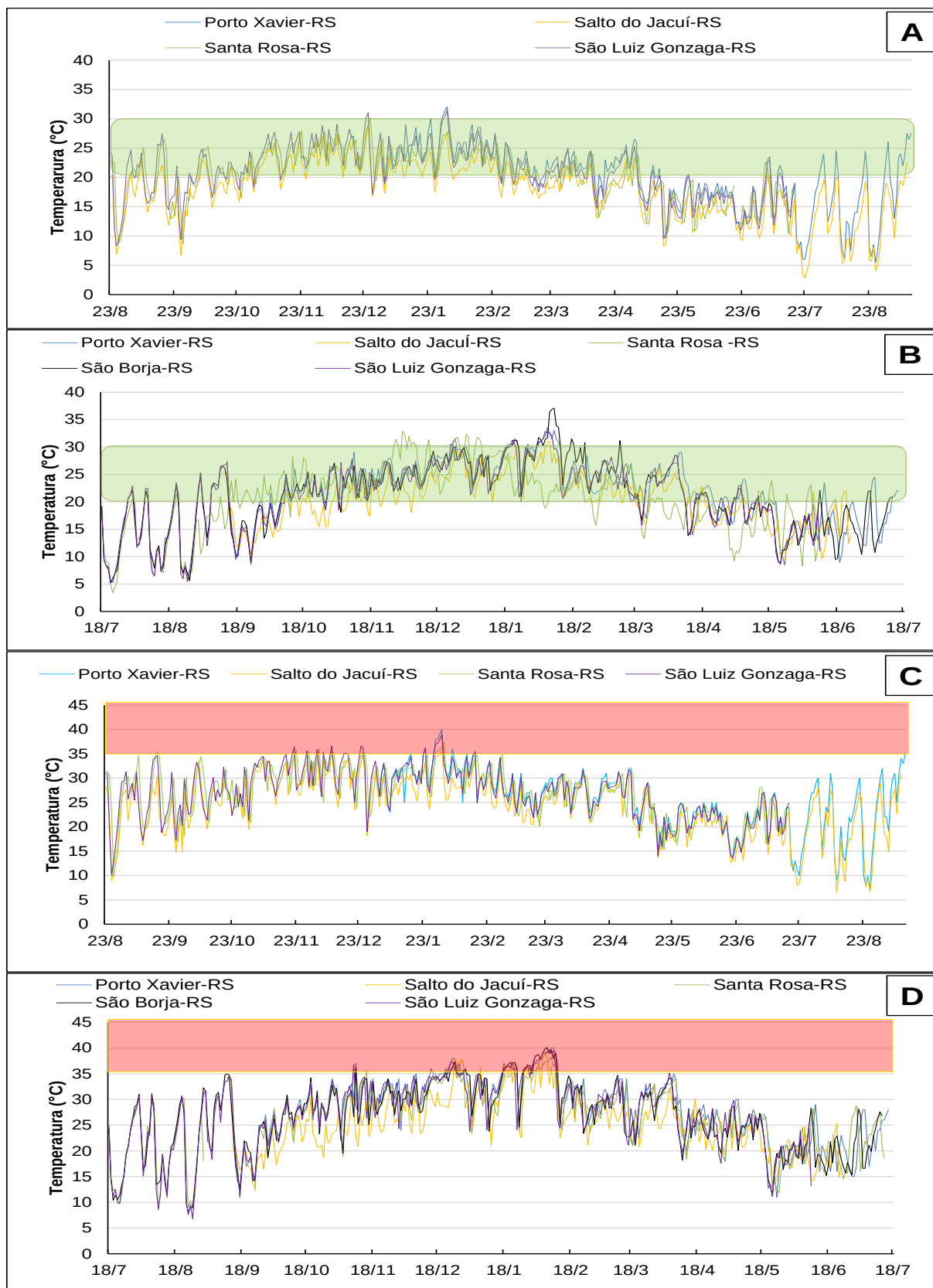


Figura 2 - Temperaturas médias do ar nas safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B) e temperaturas máximas do ar nas safras 2012/13 (C) e 2013/14 (D) observadas nas localidades gaúchas onde estão inseridos os ensaios de pesquisa com a cultura da cana-de-açúcar.

As temperaturas mínimas do ar observadas nos ambientes de estudo obtiveram quedas gradativas a partir de março até a colheita favorecendo a maturação da cana-de-açúcar nas duas safras 2012/13 (cana planta) e 2013/14 (cana 1° soca) (Figura 3 A e B), com exceção de algumas temperaturas negativas que causaram danos à cultura principalmente na primeira safra (cana planta) durante os meses de julho e agosto (Figura 3 A).

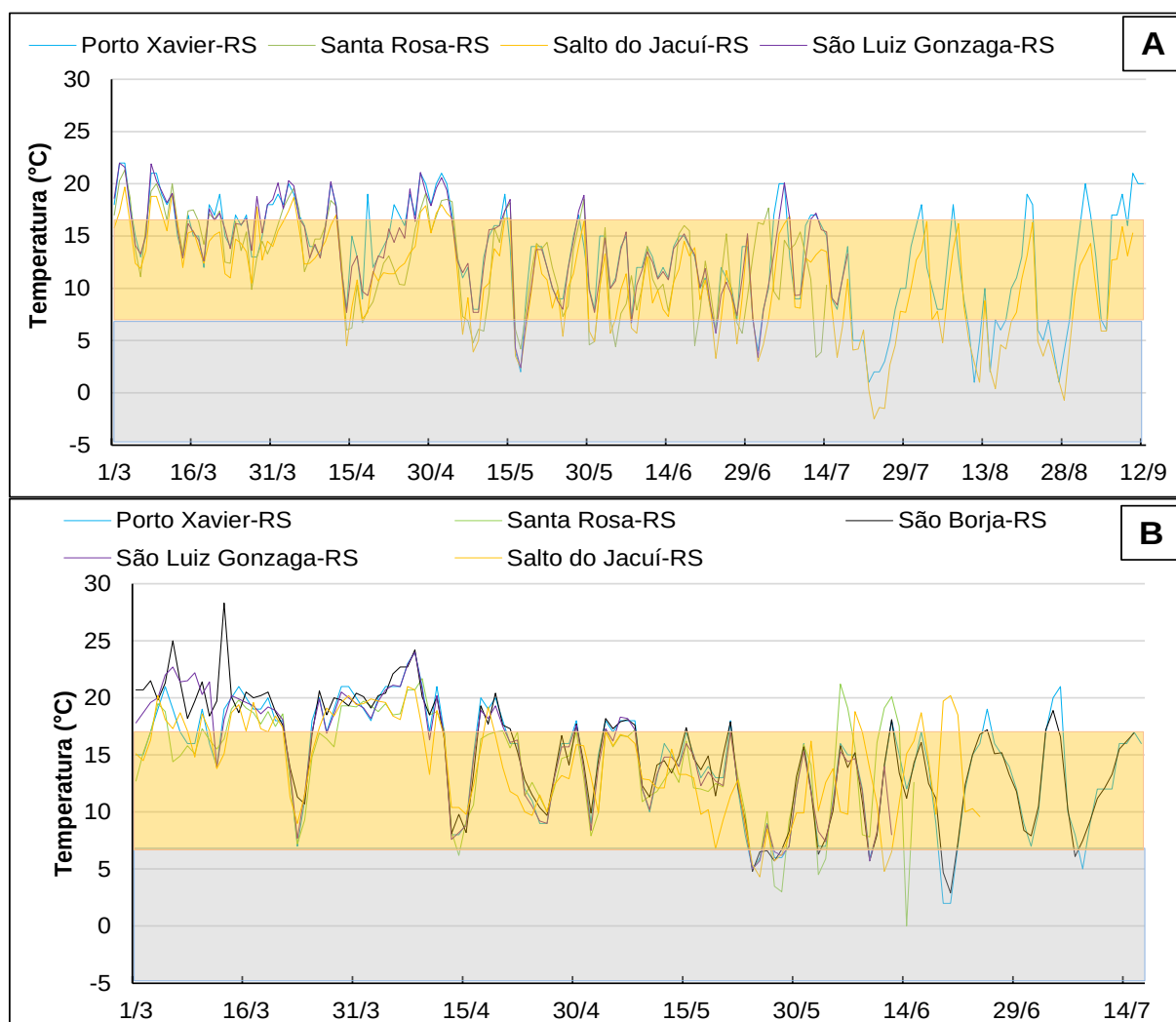


Figura 3 - Temperaturas mínimas do ar observadas nas localidades gaúchas onde estão inseridos os ensaios de pesquisa com a cultura da cana-de-açúcar, safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B).

Considerando uma diferença constante de 4,0 °C entre a temperatura mínima do ar e de relva, observou-se que na safra 2012/13 (cana planta) a partir do mês março até a colheita da cana-de-açúcar em Salto do Jacuí e Porto Xavier o maior número de dias com temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C (Tabela 2), as quais são suficientes para causar dano na gema apical da cana-de-açúcar, enquanto que

em Santa Rosa não foram observadas tais temperaturas. Entende-se que isto ocorreu principalmente em razão da colheita ter sido realizada em meados do mês de julho ao contrário dos dois primeiros locais onde a colheita ocorreu no início de setembro, sendo assim a cultura ficou por mais tempo no campo e consequentemente exposta as baixas temperaturas ocorridas. Neste mesmo período, conforme pode ser verificado na Tabela 2, em Salto do Jacuí e Porto Xavier também foram observados o maior número de dias com temperaturas do ar abaixo de 16,0 °C, as quais favorecem a maturação da cultura da cana-de-açúcar.

Para a safra 2013/14 (cana 1° soca) entre os meses março e julho foram observadas temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C em Santa Rosa, Porto Xavier e São Borja, enquanto que em São Luiz Gonzaga e Salto do Jacuí não foram observadas tais temperaturas (Tabela 2). Também neste mesmo período o maior número de dias com temperaturas abaixo de 16,0 °C foi verificado em Porto Xavier e o menor número de ocorrência destas temperaturas foi observado em Santa Rosa.

Tabela 2 - Número de dias observados em cinco intervalos de temperatura a partir de março até a colheita da cana-de-açúcar em nove ambientes do Rio Grande do Sul, nas safras 2012/13 e 2013/14.

Safra 2012/13 (cana planta)					
AMB	Tr < -1 °C	T < 16 °C	T 16 - 20 °C	T 20 - 30 °C	T > 30 °C
PXV	6	141	48	7	0
SJC	12	166	28	0	0
SLG	1	95	35	10	0
SRO	0	86	38	2	0
Safra 2013/14 (cana 1° soca)					
PXV	2	85	41	12	0
SJC	0	69	42	5	0
SLG	0	65	37	16	0
SRO	3	58	44	5	0
SBO	1	74	39	24	0

AMB – Ambientes; Tr: temperatura de relva; T: temperatura mínima do ar; PXV – Porto Xavier; SJC – Salto do Jacuí; SLG – São Luiz Gonzaga; SRO – Santa Rosa; SBO – São Borja. Fonte: INMET - 8° Distrito de meteorologia.

Na avaliação de tolerância ao frio durante a safra 2012/13 (cana planta), os materiais precoces que apresentaram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) em Porto Xavier, foram a variedade testemunha RB855156 e os genótipos RB975932, RB006996 e RB016913 (Tabela 3), os quais não apresentaram danos na gema apical, mesmo com temperatura de relva de -3,0 °C.

Tabela 3 - Notas de gema apical de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados como cana planta nos ambientes Porto Xavier (PXV) e Salto do Jacuí (SJC), Rio Grande do Sul, safra 2012/13.

GENÓTIPO	ID	CICLO	NDGA		MÉD.
			PXV	SJC	
RB855156*	G11	P	1,0	3,0	2,0
RB975932	G12	P	1,0	2,3	1,7
RB006996	G1	P	1,0	1,0	1,0
RB016913	G13	P	1,0	2,3	1,7
RB016910	G7	P	1,3	1,0	1,2
RB036152	G3	P	1,3	1,0	1,2
RB036145	G2	P	1,7	1,3	1,5
RB016916	G8	P	1,7	1,0	1,4
RB015868	G5	P	1,7	1,7	1,7
RB015895	G6	P	3,0	2,0	2,5
RB005935	G4	P	3,0	2,7	2,9
RB016918	G9	P	4,7	1,0	2,9
RB985867	G10	P	5,0	3,3	4,2
MÉDIA	-	-	2,1	1,8	2,0
RB996532	G24	M-T	1,0	1,0	1,0
RB965560	G19	M-T	1,0	1,3	1,2
RB937570	G18	M-T	1,0	1,0	1,0
RB92579	G26	M-T	1,0	1,0	1,0
RB975290	G20	M-T	1,0	2,3	1,7
RB996519	G22	M-T	1,7	4,3	3,0
RB867515*	G25	M-T	1,7	1,7	1,7
RB996527	G23	M-T	2,0	4,7	3,4
RB006624	G17	M-T	2,0	5,0	3,5
RB005017	G16	M-T	4,0	3,7	3,9
RB005014	G15	M-T	4,0	1,3	2,7
RB995431	G21	M-T	4,3	4,0	4,2
RB005003	G14	M-T	4,3	1,0	2,7
MÉDIA	-	-	2,2	2,5	2,4

P - ciclo precoce; MT – ciclo médio-tardio; ID – identificação; NDGA – nível de dano na gema apical; MÉD. – média dos dois ambientes; *testemunha de ciclo precoce e ciclo médio-tardio.

Ainda nesse mesmo ambiente e safra, os genótipos RB016910, RB036152, RB036145, RB016916 e RB015868, apresentaram nível de dano baixo na gema apical, com notas variando entre 1,3 e 1,7. Os genótipos RB015895 e RB005935 apresentaram nível de dano médio, com nota 3,0, enquanto que para os genótipos

RB016918 e RB985867 foi verificado o pior comportamento com notas 4,7 e 5,0 (gema morta), respectivamente. Os danos nas gemas apicais verificados em Porto Xavier foram causados por temperaturas de relva que variaram entre -2,0 e -3,0 °C, durante os meses de julho e agosto de 2013.

Em Salto do Jacuí, os genótipos precoces que mostraram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foram os materiais RB006996, RB016910, RB036152, RB016916 e RB016918, os quais não apresentaram danos na gema apical, com temperatura de relva chegando a -6,5 °C.

Nota-se que o genótipo RB006996 repetiu a tolerância ao frio manifestada em Porto Xavier, entretanto, este resultado difere do verificado em Porto Xavier para o genótipo RB016918 que apresentou gema apical morta. Entende-se que não ocorreu dano na gema apical deste genótipo em Salto do Jacuí mesmo com temperaturas mais rigorosas que as de Porto Xavier em função da topografia do terreno, pois o genótipo estava posicionado na parte mais alta do talhão onde estava disposto o experimento, e sendo assim não foi afetado pelas baixas temperaturas, já que o ar frio é drenado de locais mais altos para locais mais baixos do terreno onde fica acumulado (PEREIRA et al., 2007).

Os genótipos RB036145, RB015868 e RB015895, apresentaram nível de dano baixo na gema apical, com notas variando entre 1,3 e 2,0, sendo que este nível de dano também foi verificado nos dois primeiros genótipos em Porto Xavier.

A variedade testemunha RB855156 e os genótipos RB975932, RB016913 e RB005935, apresentaram nível de dano médio na gema apical, enquanto que o genótipo RB985867 apresentou nível de dano alto (nota 3,3) em Salto do Jacuí. Os genótipos RB985867 e RB005935 repetiram, respectivamente, os resultados de nível de dano alto e médio, em Salto do Jacuí e Porto Xavier. Os danos verificados nas gemas apicais em Salto do Jacuí foram causados por temperaturas de relva que variaram de -1,0 a -6,5 °C, durante os meses de julho e agosto.

Na avaliação da cana planta em Porto Xavier, os genótipos de ciclo médio-tardio RB996532, RB965560, RB937570, RB92579 e RB975290 não apresentaram dano na gema apical com temperatura de relva atingindo -3,0 °C, conforme pode ser verificado por meio das notas a eles atribuídas e apresentadas na Tabela 3.

A variedade testemunha RB867515 e os genótipos RB996519, RB996527 e RB006624 apresentaram nível de dano baixo nas gemas apicais, com notas

variando entre 1,7 e 2,0. Por outro lado, os genótipos RB005017 e RB005014 apresentaram nível de dano alto, recebendo nota 4,0.

Os genótipos RB995431 e RB005003 apresentaram o pior comportamento com nota (4,3), indicando gema apical morta e conferindo a estes suscetibilidade ao frio ocorrido em Porto Xavier. Estes danos verificados nas gemas apicais foram causados por temperaturas de relva entre -2,0 e -3,0 °C, durante os meses de julho e agosto de 2013.

Em Salto do Jacuí, os genótipos RB996532, RB937570, RB92579 e RB005003 não apresentaram dano na gema apical com nota 1,0 (gema viva), mesmo com temperatura de relva chegando a -6,5 °C. Esta característica foi verificada no ambiente Porto Xavier para os três primeiros genótipos, confirmando assim a tolerância ao frio destes materiais, no entanto, difere para o RB005003, o qual apresentou gema morta em Porto Xavier. Supõe-se que a maior altura do genótipo RB005003 em relação aos demais, a presença de arquitetura foliar ereta e também a maior área foliar deste material tenham servido de proteção para gema apical impedindo a passagem do ar frio, auxiliando para que não houvesse dano, sendo assim determinante para este resultado em Salto do Jacuí, visto que as temperaturas foram menores que as observadas em Porto Xavier.

Os genótipos RB995560 e RB005014 e a variedade testemunha RB867515 apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 1,7, sendo que este nível de dano também foi verificado na variedade testemunha em Porto Xavier.

Para o RB975290 foi verificado nível de dano médio, com nota 2,3. No entanto, para os genótipos RB005017 e RB995431 foi observado nível de dano alto nas gemas, o que também ocorreu em Porto Xavier para o RB005017.

Os genótipos RB996519, RB996527 e RB006624 apresentaram o pior comportamento com notas (4,3; 4,7 e 5,0), indicando gema apical morta e atribuindo a estes suscetibilidade ao frio ocorrido em Salto do Jacuí nos meses de julho e agosto de 2013, com temperaturas de relva variando entre -1,0 e -6,5 °C.

Nota-se que os genótipos precoces RB975932, RB016913 e a variedade testemunha RB855156 não apresentaram danos na gema apical (gema viva) quando a temperatura de relva chegou a -3,0 °C em Porto Xavier, no entanto, os mesmos materiais apresentaram nível de dano médio quando a temperatura de relva chegou a -6,5 °C em Salto do Jacuí.

Entre os genótipos de ciclo médio-tardio verifica-se que os materiais RB965560 e RB975290 não apresentaram dano na gema apical com temperatura de relva de -3,0 °C em Porto Xavier, por outro lado, nestes materiais houve nível de dano baixo e médio, respectivamente, quando a temperatura de relva chegou a -6,5 °C em Salto do Jacuí. Os genótipos médio-tardios RB996519, RB996527 e RB006624 apresentaram nível de dano baixo com temperaturas de relva de -3,0 °C em Porto Xavier, mas quando a temperatura de relva observada em Salto do Jacuí foi de -6,5 °C as lesões foram mais intensas ocorrendo à morte da gema apical destes materiais.

As avaliações de tolerância ao frio dos genótipos em São Luiz Gonzaga e Santa Rosa na safra 2012/13 (cana planta) não foram realizadas, pois ainda não tinham sido observadas temperaturas de dano a gema apical da cana-de-açúcar, em razão da colheita ter sido efetuada em meados do mês de julho.

Em Porto Xavier e Salto do Jacuí foram observadas temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C nos meses de julho e agosto de 2013 (Tabela 4). Estas temperaturas foram causadoras dos danos nas gemas apicais apresentados pelos genótipos avaliados (Tabela 3). Visto que temperaturas entre -1,0 e -3,3 °C são suficientes para provocar a morte da gema apical da cana-de-açúcar (BACCHI; SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1972).

Tabela 4 - Temperaturas mínimas do ar e da relva nos ambientes Porto Xavier e Salto do Jacuí, com potencial de danos as gemas apicais da cultura da cana-de-açúcar, safra 2012/13.

PORTO XAVIER-RS			SALTO DO JACUÍ-RS					
Data	Temperatura (°C)		Data	Temperatura (°C)		Data	Temperatura (°C)	
	mínima	relva		mínima	relva		mínima	relva
22/07/2013	1,0	-3,0	01/07/2013	3,0	-1,0	11/08/2013	2,9	-1,1
23/07/2013	2,0	-2,0	22/07/2013	0,3	-3,7	12/08/2013	1,0	-3,0
24/07/2013	2,0	-2,0	23/07/2013	-2,5	-6,5	14/08/2013	2,2	-1,8
11/08/2013	1,0	-3,0	24/07/2013	-1,4	-5,4	15/08/2013	0,4	-3,6
14/08/2013	2,0	-2,0	25/07/2013	-1,5	-5,5	27/08/2013	1,1	-2,9
27/08/2013	1,0	-3,0	26/07/2013	2,7	-1,3	28/08/2013	-0,7	-4,7

Fonte: INMET - 8° Distrito de meteorologia.

Em Porto Xavier observam-se temperaturas entre -2,0 e -3,0 °C (Tabela 4), as quais estão dentro do intervalo de dano para as gemas apicais. Por outro lado, no ambiente Salto do Jacuí ocorreram temperaturas abaixo do intervalo de dano, com valores entre -3,6 e -6,5 °C, as quais podem ter ocasionado danos em outros órgãos

da planta, além das gemas apicais. Visto que temperaturas entre -2,2 e -5,0 °C causam danos nas folhas, e temperaturas em torno de -6,0 °C causam danos nas gemas laterais (BACCHI; SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1972), porém estes danos não foram quantificados no presente trabalho.

De maneira geral, na safra 2012/13 (cana planta), Salto do Jacuí mesmo com maior número de dias com temperaturas abaixo de -1,0 °C (Tabela 4), não apresentou maiores danos às gemas apicais dos genótipos em relação a Porto Xavier (Tabela 3), isso pode ter sido ocasionado em razão do tempo de permanência destas temperaturas em cada local, o que influencia diretamente na gravidade do dano (MARIN et al. 2009).

Na safra 2013/14 (cana 1° soca) os genótipos precoces que apresentaram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) quanto à tolerância ao frio em Porto Xavier (Tabela 5), foram os materiais RB036145 e RB006996. Este resultado também foi verificado para o RB006996 na safra 2012/13 (cana planta), o que indica a elevada tolerância desse material ao frio. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando de 1,3 a 2,0.

Em São Borja mostraram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) a variedade testemunha RB855156 e os genótipos RB006996, RB975932, RB016910, RB016913 e RB036152, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0.

Para São Luiz Gonzaga o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foi dos genótipos RB036145, RB006996, RB975932, RB016918, RB016913 e RB015895, além da variedade testemunha RB855156, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando de 1,3 a 2,0.

Em Salto do Jacuí, apresentaram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) a variedade testemunha RB855156 e os genótipos RB036145, RB006996, RB975932 e RB016910, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0.

Tabela 5 - Notas de gema apical de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados como cana 1° soca nos ambientes Porto Xavier (PXV), São Borja (SBO), São Luiz Gonzaga (SLG), Salto do Jacuí (SJC) e Santa Rosa (SRO), Rio Grande do Sul, safra 2013/14.

Nível de dano na gema apical							
Safra 2013/14 (cana 1° soca)							
GENÓTIPOS	CICLO	PXV	SBO	SLG	SJC	SRO	MÉD.
RB036145	P	1,0	1,3	1,0	1,0	1,0	1,1
RB006996	P	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,1
RB855156*	P	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
RB975932	P	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
RB016910	P	1,3	1,0	1,3	1,0	1,7	1,3
RB016918	P	1,3	1,3	1,0	1,3	1,3	1,2
RB016916	P	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3	1,4
RB016913	P	1,7	1,0	1,0	1,3	2,0	1,4
RB015868	P	1,7	1,3	1,3	1,7	2,0	1,6
RB015895	P	1,7	2,0	1,0	2,0	1,7	1,7
RB985867	P	2,0	1,3	2,0	1,7	2,0	1,8
RB036152	P	2,0	1,0	2,0	1,7	2,0	1,7
RB005935	P	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
MÉDIA	-	1,5	1,3	1,3	1,4	1,6	1,4
RB975290	M-T	1,3	1,0	1,0	1,0	1,3	1,1
RB996527	M-T	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
RB996519	M-T	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
RB995431	M-T	1,7	1,0	1,0	1,7	1,0	1,3
RB005014	M-T	1,7	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9
RB996532	M-T	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,8
RB937570	M-T	2,0	2,0	1,7	1,7	2,0	1,9
RB965560	M-T	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,8
RB867515*	M-T	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,6
RB006624	M-T	2,0	1,3	1,7	2,0	2,0	1,8
RB005017	M-T	2,0	1,3	1,0	2,0	1,7	1,6
RB92579	M-T	2,0	1,3	1,3	2,0	2,0	1,7
RB005003	M-T	2,0	1,7	1,7	2,0	2,0	1,9
MÉDIA	-	1,8	1,4	1,4	1,7	1,7	1,6

P - ciclo precoce; MT – ciclo médio-tardio; MÉD. – média dos cinco ambientes; *testemunha de ciclo precoce e ciclo médio-tardio.

Para Santa Rosa o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foi da variedade testemunha RB855156 e dos genótipos RB036145 e RB975932, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0.

De maneira geral, destacaram-se a variedade testemunha RB855156 e os genótipos RB036145, RB006996 e RB975932 com nota 1,0 (gema viva) em quatro dos cinco ambientes de teste.

Para os genótipos de ciclo médio-tardio em Porto Xavier (cana 1° soca), observa-se que todos os materiais apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0 (Tabela 5).

Em São Borja apresentaram o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) a variedade testemunha RB867515 e os genótipos RB975290, RB996527, RB996519, RB995431 e RB965560, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0.

Para São Luiz Gonzaga, o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foi da variedade testemunha RB867515 e dos RB975290, RB996527, RB996519, RB995431, RB996532 e RB005017, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas de 1,7 a 2,0.

Em Salto do Jacuí o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foi apresentado pelos genótipos RB975290, RB996527 e RB996519, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas de 1,7 a 2,0.

Para Santa Rosa, o melhor comportamento com nota 1,0 (gema viva) foi dos genótipos RB996527, RB996519 e RB995431, os quais não apresentaram danos na gema apical. Os demais genótipos apresentaram nível de dano baixo, com notas variando entre 1,3 e 2,0.

De modo geral, destacaram-se os genótipos RB996527 e RB996519 com nota 1,0 (gema apical viva) em quatro dos cinco ambientes de teste.

Em Porto Xavier, São Borja e Santa Rosa foram observadas temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C, entretanto, em Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga estas temperaturas não foram verificadas.

Em Porto Xavier foram verificados dois dias com temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C (19/06/2014 e 20/06/2014 ambos com -2,0 °C), enquanto que em São Borja foi observado apenas um dia (20/06/2014 com -1,1 °C). Em Santa Rosa foram observados três dias com temperaturas de relva abaixo de -1,0 °C (16/06/2014 com -3,0 °C, 25/06/2014 com -1,6 °C e 01/07/2014 com -1,1 °C). Estas temperaturas

foram causadoras dos danos nas gemas apicais apresentados pelos genótipos avaliados (Tabela 5). Visto que temperaturas entre -1,0 e -3,3 °C são suficientes para provocar a morte da gema apical da cana-de-açúcar (BACCHI; SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1972).

Em Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga, mesmo não sendo verificadas temperaturas abaixo de -1,0 °C foram observados danos na gema apical de alguns genótipos, no entanto, esses danos foram de nível baixo.

Danos deste tipo nas gemas apicais podem ocorrer pelo resfriamento dos tecidos, os quais acontecem com temperaturas baixas acima de 0 °C, ou seja, aquelas superiores à de congelamento, principalmente em espécies tropicais sensíveis ao resfriamento como a cana-de-açúcar (BURGOS, 1963; SAGE; KUBIEN, 2007; KAKANI et al., 2008).

Em geral, a safra 2012/2013 (cana planta) foi favorável para a maturação, com queda gradativa das temperaturas a partir do mês de março até a colheita nos quatro ambientes avaliados, favorecendo o acúmulo de açúcar da cultura.

Houve variações entre os genótipos de ciclo precoce e médio-tardio na variável analisada SST e interação com os ambientes de teste (Tabela 6).

Para a variável SST verificou-se que os genótipos de ciclo precoce apresentaram maturação acima do valor ideal de 18,0 °Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis totais, descrito por Fernandes (2003), com valores entre 18,2 e 21,7 °Brix, em Porto Xavier, Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga. A exceção foi Santa Rosa, que apresentou apenas dois genótipos com valor acima do ideal, os RB015895 e o RB036152 com 18,4 e 19,1 °Brix, respectivamente, os demais valores neste ambiente variaram entre 16,2 e 17,9 °Brix, estando assim abaixo da maturação ideal.

Os genótipos de ciclo médio-tardio apresentaram maturação acima do valor ideal, em Porto Xavier, Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga, com valores variando entre 18,0 e 22,9 °Brix, com algumas exceções os genótipos RB995431 (17,9 °Brix), RB995560 (17,8 °Brix), RB975290 (17,7 °Brix), RB996532 (17,5 ° Brix) e RB996519 (16,5 °Brix) em Salto do Jacuí e os genótipos RB996519 (17,4 °Brix) e RB006624 (15,6 °Brix) em São Luiz Gonzaga. A exceção em relação aos ambientes foi novamente Santa Rosa, o qual apresentou apenas um genótipo com valor acima da maturação ideal, o RB995431 com 18,4 °Brix, os demais valores variaram entre 13,8 e 17,9 °Brix.

Tabela 6 - Sólidos solúveis totais (SST) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em quatro ambientes da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, safra 2012/13.

Sólidos Solúveis Totais (SST)														
Safrá 2012/13 (cana planta)														
Genótipos	Ciclo	PXV			SJC			SLG			SRO			Média
RB015895	P	21,6	A ⁽¹⁾	a ⁽²⁾	21,3	A	a	18,8	B	def	19,1	B	a	20,2
RB005935	P	20,9	A	ab	21,2	A	a	20,5	A	ab	17,2	B	cde	20,0
RB016916	P	20,8	A	abc	19,7	B	cd	20,8	A	a	17,8	C	bcd	19,8
RB016913	P	21,1	A	ab	20,2	A	bc	21,0	A	a	16,7	B	de	19,8
RB016910	P	19,9	B	bc	20,1	B	bc	20,8	A	a	17,5	C	bcd	19,6
RB985867	P	21,7	A	a	20,1	B	bc	19,5	B	cde	16,4	C	e	19,4
RB036145	P	19,9	B	bc	20,7	A	ab	18,2	C	f	18,4	C	ab	19,3
RB855156*	P	19,9	A	bc	19,5	A	cd	20,0	A	bc	17,0	B	cde	19,1
RB015868	P	21,7	A	a	18,7	B	de	18,5	B	f	16,9	C	cde	18,9
RB016918	P	19,9	A	bc	18,3	B	e	19,6	A	cd	17,9	B	bc	18,9
RB975932	P	20,9	A	ab	18,2	C	e	19,8	B	bc	16,8	D	cde	18,9
RB036152	P	20,4	A	abc	18,8	B	de	18,7	B	ef	16,3	C	e	18,5
RB006996	P	19,3	A	c	19,1	A	de	18,9	A	def	16,2	B	e	18,4
Média		20,6	A		19,7	B		19,6	B		17,2	C		19,3
C.V (%)		3,7			2,7			2,3			3,2			

RB005003	M-T	22,9	A	a	19,6	B	b	19,3	B	abc	16,1	C	cdef	19,5
RB975290	M-T	21,1	A	bcd	17,7	B	de	19,8	A	ab	17,9	B	ab	19,1
RB995431	M-T	19,4	B	fg	17,9	C	de	20,3	A	a	18,4	C	a	19,0
RB867515*	M-T	20,3	A	cdef	18,4	B	cde	20,0	A	ab	17,2	C	abcd	19,0
RB965560	M-T	21,6	A	b	17,8	C	de	18,9	B	bcd	17,3	C	abc	18,9
RB92579	M-T	19,7	A	fg	19,3	A	bc	19,8	A	ab	15,5	B	ef	18,6
RB005014	M-T	21,8	A	b	18,5	B	bcde	19,7	B	abc	13,8	C	h	18,5
RB006624	M-T	21,2	A	bc	20,9	A	a	15,6	B	f	15,8	B	def	18,4
RB937570	M-T	20,0	A	defg	18,6	B	bcd	19,3	AB	abc	15,5	C	ef	18,4
RB005017	M-T	20,3	A	cdef	18,0	A	de	18,9	A	bcd	15,2	B	fg	18,1
RB996532	M-T	18,9	A	g	17,5	B	ef	18,6	A	cd	16,9	B	bcde	18,0
RB996519	M-T	21,0	A	bcde	16,5	BC	f	17,4	B	e	15,6	C	ef	17,6
RB996527	M-T	19,8	A	efg	18,0	B	de	18,0	B	de	14,1	C	gh	17,5
Média		20,6	A		18,4	C		18,9	B		16,1	D		18,5
C.V (%)		3,1			3,1			3,2			4,7			

P - ciclo precoce; MT – ciclo médio-tardio; *testemunha de ciclo precoce e ciclo médio-tardio; (1) Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha não diferem pelo teste Duncan ($p < 0,05$); (2) Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste Duncan ($p < 0,05$); PXV – Porto Xavier; SJC – Salto do Jacuí; SLG – São Luiz Gonzaga; SRO – Santa Rosa.

Para variável SST em Porto Xavier os genótipos de ciclo precoce RB985867 (21,7 °Brix), RB015868 (21,7 °Brix) e RB015895 (21,6 °Brix) foram superiores a variedade testemunha RB855156 (19,9 °Brix). Entre os genótipos de ciclo médio-

tardio os materiais RB005003 (22,9 °Brix), RB005014 (21,8 °Brix) e RB995560 (21,6 °Brix) superaram a variedade testemunha RB867515 (20,3 ° Brix). Destacando-se o genótipo RB005003 com o maior acúmulo de açúcares dentre todos os genótipos, tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio e também entre todos os ambientes de teste, o que indica o grande potencial deste material.

Em Salto do Jacuí, os genótipos de ciclo precoce RB015895 (21,3 °Brix), RB005935 (21,2 °Brix) e RB036145 (20,7 °Brix) superaram a variedade testemunha RB855156 (19,5 °Brix), sendo que estes três apresentaram excelente acúmulo de açúcar, com valores acima de 20 °Brix. Para os genótipos de ciclo médio-tardio, o RB006624 (20,9 °Brix) e o RB005003 (19,6 °Brix) superaram a variedade testemunha RB867515 (18,4 °Brix).

Em São Luiz Gonzaga, os genótipos de ciclo precoce RB016913 (21,0 °Brix), RB016916 (20,8 °Brix) e RB016910 (20,8 °Brix) superaram a variedade testemunha RB855156 (20,0 °Brix), apresentando elevados valores de SST. Em relação aos genótipos de ciclo médio-tardio, não houve genótipos superiores a variedade testemunha RB867515, a qual acumulou 20,0 °Brix, apresentando o segundo melhor desempenho neste ambiente. Destacando-se o genótipo RB995431 com o melhor desempenho, atingindo 20,3 °Brix.

Em Santa Rosa, para os genótipos de ciclo precoce, o RB015895 (19,1 °Brix) e o RB036145 (18,4 ° Brix) foram superiores a variedade testemunha RB855156 (17,0 °Brix). Para os genótipos de ciclo médio-tardio, não houve genótipos superiores em relação à variedade testemunha RB867515 (17,2 °Brix), entretanto, destacou-se o genótipo RB995431 com o melhor desempenho e valor acima da maturação ideal, atingindo 18,4 °Brix.

De maneira geral, o grande destaque entre os genótipos de ciclo precoce foi o RB015895 superando a variedade testemunha em três (PXV, SJC, SRO) dos quatro ambientes, atingindo valores de SST de 21,6; 21,3 e 19,1 °Brix, respectivamente, o que indica estabilidade fenotípica deste material no acúmulo de açúcares, mostrando-se o genótipo mais promissor entre os precoces. Para os genótipos de ciclo médio-tardio, destacaram-se os materiais RB005003 e RB995431, sendo que o primeiro superou a variedade testemunha em dois ambientes (PXV e SJC) e o segundo apresentou o melhor desempenho nos outros dois ambientes (SLG e SRO), mesmo não havendo genótipos superiores a testemunha, sendo assim estes genótipos mostram-se promissores nos ambientes de destaque.

Em relação aos quatro ambientes de teste utilizados na safra 2012/13 (cana planta) para os genótipos de ciclo precoce, nota-se que Porto Xavier foi ligeiramente superior a Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga no acúmulo de açúcar, mostrando-se largamente superior a Santa Rosa, o qual apresentou o pior desempenho entre os ambientes de teste. Para os genótipos de ciclo médio-tardio, Porto Xavier também se mostrou superior aos demais ambientes de teste, entretanto, obteve desempenho ainda melhor que aqueles verificados em relação aos genótipos precoces.

Considerando o acúmulo de açúcar médio dos genótipos de ciclo precoce, Porto Xavier foi superior aos demais ambientes, apresentando uma média de 20,6 °Brix, entre os 13 materiais avaliados. Salto do Jacuí e São Luiz Gonzaga não diferiram entre si, apresentando médias de 19,7 e 19,6 °Brix, respectivamente. O pior desempenho em termos de acúmulo de açúcar foi de Santa Rosa com média de 17,2 °Brix. Em relação ao SST médio dos genótipos de ciclo médio-tardio, Porto Xavier mostrou-se superior aos demais ambientes. São Luiz Gonzaga (18,9 °Brix) foi superior a Salto do Jacuí (18,4 °Brix) e Santa Rosa (16,1 °Brix), sendo que o último apresentou o pior desempenho no acúmulo de açúcar, o que também foi verificado para os genótipos de ciclo precoce.

O melhor desempenho em acúmulo de açúcar dos genótipos tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio em Porto Xavier foi consequência do maior período de restrição térmica deste entre todos os ambientes de teste, ocorrendo principalmente entre os meses de março e julho, com temperaturas abaixo de 16,0 °C, as quais são consideradas fundamentais para maior qualidade da maturação da cultura da cana-de-açúcar no RS. Embora que em Salto do Jacuí tenha se observado um grande número de temperaturas abaixo de 16,0 °C houve várias temperaturas abaixo de 2,5 °C, as quais segundo Maluf et al. (2008) acabam desfavorecendo o acúmulo final de açúcar dos genótipos.

Por outro lado, o pior desempenho em acúmulo de açúcar dos genótipos verificado em Santa Rosa, se deu devido ao menor período de restrição térmica ocorrido entre todos os ambientes de teste nos principais meses de maturação, os quais estão compreendidos entre março e julho.

A safra 2013/14 (cana 1° soca) foi favorável para a maturação, com queda gradativa das temperaturas a partir do mês de março até a colheita nos cinco ambientes avaliados, favorecendo o acúmulo de açúcar da cultura. Houve variações

entre os genótipos de ciclo precoce e médio-tardio na variável analisada SST e interação com os ambientes de teste (Tabela 7).

Os genótipos de ciclo precoce apresentaram maturação acima do valor ideal de 18,0 °Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis totais, com valores variando entre 23,4 e 18,1 °Brix, nos cinco ambientes de teste (Porto Xavier, São Borja, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí e Santa Rosa).

Os genótipos de ciclo médio-tardio apresentaram maturação acima do valor ideal em Porto Xavier, São Borja e Santa Rosa com valores variando entre 22,5 e 18,1 °Brix.

Nos outros dois ambientes alguns genótipos apresentaram valores abaixo da maturação ideal, os materiais RB996532 (17,7 °Brix) e RB995431 (17,0 °Brix) em São Luiz Gonzaga, assim como os genótipos RB996519 (17,8 °Brix), RB995431 (17,8 °Brix) e a variedade testemunha RB867515 (17,8 °Brix) em Salto do Jacuí.

Na variável SST em Porto Xavier os genótipos de ciclo precoce RB016916 (21,9 °Brix), RB015895 (21,8 °Brix) e RB985867 (21,7 °Brix) superaram a variedade testemunha RB855156 (20,0 °Brix), apresentando excelente acúmulo de açúcar. Para os genótipos de ciclo médio-tardio verifica-se que a variedade testemunha RB867515 (19,9 °Brix) foi inferior apenas ao genótipo RB005003 (22,5 °Brix), o qual apresentou elevado acúmulo de açúcar, atingindo o melhor desempenho entre todos os materiais de ciclo médio-tardio.

Em São Borja, para os genótipos de ciclo precoce apenas o RB015895 (23,4 °Brix) superou a variedade testemunha RB855156 (20,8 °Brix), apresentando elevado teor de SST, com o melhor desempenho entre os materiais de ciclo precoce. Entre os genótipos de ciclo médio-tardio não houve diferença significativa, no entanto, destacaram-se os genótipos RB965560, RB937570 e RB006624 com valores acima de 20,0 °Brix, visto que a média dos genótipos foi de 19,2 °Brix.

A variedade testemunha RB855156 apresentou desempenho diferenciado em São Luiz Gonzaga, não sendo superada pelos demais genótipos de ciclo precoce. Entre os genótipos de ciclo médio-tardio o melhor desempenho foi dos materiais RB92579 (19,9 °Brix), RB965560 (19,8 °Brix) e RB996519 (19,4 °Brix), os quais foram superiores a variedade testemunha RB867515 (18,4 °Brix).

Tabela 7 - Sólidos solúveis totais (SST) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em cinco ambientes da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, safra 2013/14.

Sólidos Solúveis Totais (SST)																	
Safrá 2013/14 (cana 1º soca)																	
Genótipos	Ciclo	PXV			SBO			SLG			SJC			SRO			Média
RB015895	P	21,8	AB ⁽¹⁾	a ⁽²⁾	23,4	A	a	20,1	B	abc	21,4	B	a	20,2	B	ab	21,4
RB036145	P	21,1	AB	abc	21,9	A	ab	20,9	AB	a	19,6	B	bc	19,9	B	abc	20,7
RB006996	P	20,9	A	abcd	20,9	A	bc	21,1	A	a	19,1	B	bcd	19,8	AB	abc	20,4
RB016916	P	21,9	A	a	19,8	BC	c	18,5	C	c	20,3	AB	ab	20,5	AB	ab	20,2
RB016918	P	20,9	A	abcd	20,7	AB	bc	20,3	AB	ab	19,7	AB	bc	19,4	B	abc	20,2
RB855156*	P	20,0	A	cd	20,8	A	bc	19,4	A	abc	19,8	A	bc	21,0	A	a	20,2
RB016910	P	20,9	AB	abcd	20,0	ABC	c	21,1	A	a	19,9	BC	b	19,0	C	bc	20,2
RB005935	P	21,1	A	abc	20,5	AB	bc	20,5	AB	ab	19,2	BC	bcd	18,9	C	bc	20,0
RB016913	P	20,1	A	bcd	19,7	A	c	20,5	A	ab	19,6	A	bc	19,5	A	abc	19,9
RB015868	P	20,1	A	bcd	20,2	A	c	20,6	A	a	19,7	A	bc	18,8	A	bc	19,9
RB985867	P	21,7	A	ab	19,5	BC	c	20,2	B	abc	19,5	BC	bcd	18,1	C	c	19,8
RB036152	P	19,4	AB	de	20,7	A	bc	20,0	AB	abc	18,3	AB	d	18,6	B	bc	19,4
RB975932	P	18,3	A	e	19,4	A	c	18,8	A	bc	18,6	A	cd	19,8	A	abc	19,0
Média		20,6	A		20,6	A		20,2	B		19,6	C		19,5	C		20,1
C.V (%)		4,1			4,4			4,5			3,3			5,2			

RB965560	M-T	20,4	A	bc	20,3	AB	ns	19,8	AB	a	19,4	AB	ab	19,2	B	ns	19,8
RB006624	M-T	20,2	A	bcd	20,1	A		19,9	A	a	19,1	A	ab	19,4	A		19,7
RB996527	M-T	21,1	A	b	19,4	AB		18,5	B	bcd	19,2	AB	ab	20,2	AB		19,7
RB005003	M-T	22,5	A	a	18,7	B		18,5	B	bcd	19,7	B	a	18,6	B		19,6
RB937570	M-T	20,5	A	bc	20,1	A		18,7	A	bc	19,2	A	ab	19,0	A		19,5
RB92579	M-T	18,2	B	e	19,9	A		19,9	A	a	18,1	B	c	20,4	A		19,3
RB005017	M-T	19,1	A	de	19,4	A		19,2	A	abc	18,6	A	bc	18,9	A		19,0
RB996532	M-T	20,1	A	bcd	19,6	AB		17,7	C	de	18,1	BC	c	19,7	AB		19,0
RB867515*	M-T	19,9	A	bcd	19,1	ABC		18,4	BC	cd	17,8	C	c	19,4	AB		18,9
RB005014	M-T	20,4	A	bc	18,2	B		18,6	B	bc	18,8	B	abc	18,5	B		18,9
RB996519	M-T	20,0	A	bcd	18,2	BC		19,4	AB	ab	17,8	C	c	18,5	BC		18,8
RB975290	M-T	19,6	A	cd	18,5	B		18,5	B	bcd	18,6	B	bc	18,7	B		18,8
RB995431	M-T	19,6	A	cd	18,6	AB		17,0	B	e	17,8	B	c	18,1	AB		18,2
Média		20,1	A		19,2	B		18,8	C		18,6	C		19,1	B		19,2
C.V (%)		3,2			5,2			2,8			3,0			4,5			

P - ciclo precoce; MT – ciclo médio-tardio; *testemunha de ciclo precoce e ciclo médio-tardio; (1) Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha não diferem pelo teste Duncan ($p < 0,05$); (2) Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste Duncan ($p < 0,05$); PXV – Porto Xavier; SJC – Salto do Jacuí; SLG – São Luiz Gonzaga; SRO – Santa Rosa.

Em Salto do Jacuí, para os genótipos de ciclo precoce somente o RB015895 (21,4 °Brix) foi superior a variedade testemunha RB855156 (19,8 °Brix), sendo um

material promissor neste ambiente de teste. Para os genótipos de ciclo médio-tardio o melhor desempenho foi dos materiais RB005003 (19,7 °Brix), RB995560 (19,4 °Brix), RB996527 (19,2 °Brix), RB937570 (19,2 °Brix) e RB006624 (19,1 °Brix) sendo estes superiores a variedade testemunha RB867515 (17,8 °Brix).

Em Santa Rosa, a variedade testemunha RB855156 não foi superada pelos demais genótipos de ciclo precoce, assim como ocorreu em São Luiz Gonzaga, o que indica boa adaptação da variedade a esses dois ambientes. Entre os genótipos de ciclo médio-tardio não houve diferença significativa nos valores de SST, no entanto, destacaram-se os genótipos RB92579 e RB996527 com valores acima de 20,0 °Brix, visto que a média dos genótipos foi de 19,1 °Brix.

De modo geral, o grande destaque entre os genótipos de ciclo precoce foi o RB015895 superando a variedade testemunha em três (SBO, PXV e SJC) dos cinco ambientes na safra 2013/14 (cana 1° soca), atingindo valores de 23,4; 21,8 e 21,4 °Brix, respectivamente, além de apresentar valores acima de 20,0 °Brix nos outros dois ambientes (SRO e SLG) mesmo não tendo superado a testemunha, indicando grande potencial e estabilidade fenotípica deste material no acúmulo de açúcar. Vale ressaltar que o genótipo RB015895 também foi o grande destaque na safra 2012/13 (cana planta), o que indica sua qualidade e capacidade em acumular açúcar, confirmando-se como o genótipo mais promissor entre os precoces, com grande possibilidade de indicação de cultivo nessa região.

Para os genótipos de ciclo médio-tardio, houve grande variabilidade entre os materiais que superaram a testemunha RB867515, no entanto, podemos destacar o RB005003 que confirmou sua superioridade e bom desempenho verificado na safra 2012/13 (cana planta) nos ambientes Porto Xavier e Salto do Jacuí, sendo este o material mais promissor no acúmulo de açúcar entre os médio-tardios, especialmente para esses dois ambientes.

Também merecem destaque as variedades testemunhas RB855156 e RB867515, que mesmo sendo consideradas “antigas”, acabaram mantendo elevado acúmulo de açúcar nas duas safras (2012/13 – cana planta e 2013/14 – cana 1° soca) avaliadas.

Em relação aos cinco ambientes de teste utilizados na safra 2013/14 (cana 1° soca) para os genótipos de ciclo precoce, nota-se grande semelhança no acúmulo de açúcar entre todos os ambientes avaliados. Para os genótipos de ciclo médio-

tardio, também se verifica semelhança entre os ambientes de teste no acúmulo de açúcar.

Entretanto, se considerarmos a média de SST dos genótipos precoces observa-se que Porto Xavier e São Borja não diferiram entre si, apresentando médias idênticas de 20,6 °Brix, sendo superiores aos demais ambientes de teste. São Luiz Gonzaga (20,2 °Brix) foi superior a Salto do Jacuí (19,6 °Brix) e Santa Rosa (19,5 °Brix), sendo que estes dois últimos não diferiram entre si na média dos genótipos. Em relação à média de SST dos genótipos de ciclo médio-tardio observa-se que Porto Xavier foi superior aos demais ambientes.

A superioridade no acúmulo de açúcar para os genótipos de ciclo precoce e médio-tardio em Porto Xavier na safra 2013/14 (cana 1° soca), também ocorreu devido ao maior período de restrição térmica deste em relação aos demais ambientes de teste, assim como foi observado na safra 2012/13 (cana planta), com maior número de dias com temperaturas abaixo de 16,0 °C, nos principais meses de maturação da cultura da cana-de-açúcar, compreendidos entre março e julho.

O pior desempenho dos genótipos tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio foi verificado em Santa Rosa, pois este apresentou o menor número de dias com temperaturas abaixo de 16,0 °C, acarretando em baixo acúmulo de açúcar dos genótipos, este resultado também foi observado na safra 2012/13 (cana planta).

Sendo assim, Porto Xavier foi o grande destaque entre os ambientes avaliados nas duas safras (2012/13 – cana planta e 2013/14 – cana 1° soca), pois apresentou as melhores condições meteorológicas para a maturação dos genótipos tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio.

4.4. Conclusões

- i) Os genótipos apresentam diferença em tolerância ao frio e qualidade da produção durante os dois anos de cultivo (cana planta e cana 1° soca).
- ii) Os genótipos RB006996, RB016910 e RB036152 são os materiais precoces de melhor tolerância ao frio como cana planta, enquanto que como cana de 1° soca são os materiais RB036145, RB006996, RB975932 e a variedade testemunha RB855156.

iii) Os genótipos RB996532, RB937570 e RB92579, como cana planta, e os genótipos RB996527 e RB996519, como cana de 1º soca, são os materiais médio-tardios de maior tolerância ao frio.

iv) Novos genótipos superam em qualidade as variedades testemunhas RB855156 de ciclo precoce e RB867515 de ciclo médio-tardio.

v) Os genótipos RB015895 de ciclo precoce e RB005003 de ciclo médio-tardio destacam-se pelo elevado acúmulo de açúcar superando as variedades testemunhas em todos ambientes de teste.

vi) Porto Xavier foi o ambiente de teste que apresentou as melhores condições ambientais para maturação dos genótipos de ciclo precoce e médio-tardio.

5. CAPÍTULO 2. Desempenho produtivo de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio na região noroeste do Rio Grande do Sul

5.1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área cultivada de aproximadamente 8,8 milhões de hectares e produtividade média de 75 t ha⁻¹ na safra 2013/14 (CONAB, 2014). No Rio Grande do Sul a produtividade média é de 40 t ha⁻¹, em uma área cultivada de cerca de 29 mil hectares, o que representa menos de 0,5% da área cultivada a nível nacional (IBGE, 2014). No entanto, a cultura tem grande importância no estado por estar associada às atividades desenvolvidas pela agricultura familiar, correspondendo a uma importante fonte de renda para muitas famílias (MALUF et al., 2008). Recentemente o zoneamento agroecológico apontou 1,5 milhões de hectares com aptidão ao cultivo no RS (MANZATO et al., 2010), o que torna a cultura promissora neste estado, especialmente a região noroeste, onde inclusive situam-se as principais usinas de processamento de cana-de-açúcar.

A cultura é fortemente influenciada pelas variáveis meteorológicas: temperatura do ar, radiação solar global e chuva (LEITE, 2007), as quais interferem diretamente na produtividade, tanto de colmos como de açúcar. A temperatura do ar tem grande influência nas diferentes fases do desenvolvimento da cultura, sendo ideais temperaturas entre 20,0 e 30,0 °C, as quais favorecem o crescimento dos entrenós (MARIN et al., 2009), enquanto que para a maturação Argenton (2006) relata que decréscimos na temperatura são favoráveis para o acúmulo de sacarose. Com relação à radiação solar global, por se tratar de uma planta do tipo C4 com alta eficiência fotossintética, Brunini (2008) sustenta que quanto maior a intensidade luminosa, maior será a fotossíntese realizada pela cultura e maior serão o crescimento e acúmulo de açúcares. Para Machado et al. (2009), a chuva adequada reduz significativamente as perdas de produtividade e proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento vegetativo da planta, corroborando com

Robertson et al. (1999); Silva; Costa (2004) que observaram redução das taxas de crescimento de colmo, produção de fitomassa e consequentemente rendimento de sacarose em condições de déficit hídrico.

A avaliação, identificação e indicação de genótipos de cana-de-açúcar quanto a sua produtividade e adaptação ao ambiente de cultivo são de fundamental importância para expansão da cultura no Rio Grande do Sul. Para tais observações uma das ferramentas mais utilizadas pelos programas de melhoramento é o estudo de interação entre genótipo e ambiente. A interação entre genótipo e ambiente refere-se à alteração no desempenho relativo dos genótipos devido às diferenças de ambiente. Este é um dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, tanto na fase de seleção quanto na de recomendação de cultivares. Entre as alternativas para minimizar esse problema está a escolha de variedades com boa estabilidade e ampla adaptação aos ambientes. Estudos sobre esse tema buscam conhecer o comportamento dos genótipos quanto à adaptabilidade, a qual se refere à capacidade dos genótipos responderem de forma positiva ao estímulo do ambiente, e a estabilidade, que é a capacidade dos genótipos desempenharem um comportamento previsível em função do estímulo do ambiente (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Os estudos envolvendo interação entre genótipo e ambiente de cultivo tem sido objeto de diversas pesquisas, em programas de melhoramento de genótipos de cana-de-açúcar (RAIZER; VENCovsky, 1999; SILVA et al., 2002; BASTOS et al., 2007; ROSA, 2008; SILVA, 2008; VERISSIMO et al., 2012). A avaliação dessa interação através do Método AMMI (Análise de efeitos principais aditivos e interações multiplicativas) vem sendo aplicado com sucesso: em milho (MIRANDA et al., 2009), soja (OLIVEIRA et al., 2003; VICENTE et al., 2004; POLIZEL et al., 2013), e recentemente em cana-de-açúcar (GUERRA et al., 2009; GUERRA, 2010; VERISSIMO et al., 2012), entre outras.

Este método consiste na decomposição das fontes de variação em efeitos aditivos de genótipos e ambientes do modo tradicional e, posteriormente, em efeitos multiplicativos para a interação entre genótipo e ambiente pela análise de componentes principais, com maior detalhamento da soma de quadrados da interação (ZOBEL et al., 1988).

No modelo AMMI1, a abscissa representa os efeitos principais (médias de genótipos), e a ordenada representa o primeiro eixo de interação (IPCA1). Deste

modo, genótipos com valores de IPCA1 próximos de zero irão apresentar alta estabilidade e ampla adaptação aos ambientes de teste. No modelo AMMI2, os genótipos e ambientes próximos a origem dos eixos IPCA1 e IPCA2 serão mais estáveis do que aqueles mais afastados, contribuindo pouco para interação entre genótipo e ambiente, sendo que combinações de genótipos e ambientes com escores IPCA de mesmo sinal possuem interações específicas positivas, enquanto combinações de sinais opostos apresentam interações específicas negativas (CHAVES, 2001).

O uso deste método pode auxiliar tanto na identificação de genótipos altamente produtivos e adaptados, como também no zoneamento agrônomo, indicação regionalizada e seleção de locais testes (GAUCH; ZOBEL, 1996).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio, quanto à produção de colmos, de açúcar e a eficiência do uso de energia solar em produção, na região noroeste do RS.

5.2. Material e métodos

A avaliação da produção de 26 genótipos, sendo 13 de maturação precoce: RB006996 (G1), RB036145 (G2), RB036152 (G3), RB005935 (G4), RB015868 (G5), RB015895 (G6), RB016910 (G7), RB016916 (G8), RB016918 (G9), RB985867 (G10), RB855156 (G11-testemunha), RB975932 (G12), RB016913 (G13), e 13 de maturação médio-tardia: RB005003 (G14), RB005014 (G15), RB005017 (G16), RB006624 (G17), RB937570 (G18), RB965560 (G19), RB975290 (G20), RB995431 (G21), RB996519 (G22), RB996527 (G23), RB996532 (G24), RB867515 (G25-testemunha), RB92579 (G26), foi realizada em nove ambientes da região noroeste do Rio Grande do Sul, cultivados em cana-planta e cana 1° soca. Foram analisados os dados de produtividade das safras 2012/13 e 2013/14, originados de experimentos de avaliação de genótipos de cana-de-açúcar, implantados pela Embrapa Clima Temperado, desenvolvidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa) e disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal do Paraná, situados nos municípios de: Porto Xavier – A1 (cana planta) e A2 (cana 1° soca), coordenadas (27°53'S, 55°10'W – altitude 125 m), Salto do Jacuí –

A3 (cana planta) e A4 (cana 1° soca), coordenadas (29°00'S, 53°13'W – altitude 361 m), São Luiz Gonzaga – A5 (cana planta) e A6 (cana 1° soca), coordenadas (28°22'S, 54°54'W – altitude 225 m), Santa Rosa – A7 (cana planta) e A8 (cana 1° soca), coordenadas (27°50'S, 54°26'W – altitude 342 m) e São Borja – A9 (cana planta), coordenadas (28°41'S, 55°57'W – altitude 97 m).

No pré-plantio, o preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens e em seguida a formação dos sulcos, com profundidade de 30 a 40 cm e espaçamento entre sulcos de 1,40 m. Para o plantio foi utilizado o sistema convencional (manual), distribuindo-se toletes com três gemas ao longo dos sulcos, sendo colocados seis toletes por metro linear, totalizando 18 gemas por metro, conforme o recomendado para cultura (ZAMBON; DAROS, 2005).

O plantio foi realizado na segunda quinzena de agosto de 2012. A colheita da cana planta foi realizada entre julho e setembro de 2013 e da cana 1° soca em julho de 2014, quando os genótipos apresentavam o índice de maturação entre 0,85 e 1,0, sendo este o índice de cana madura (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

A adubação foi realizada, com a utilização de 60 kg de N ha⁻¹, 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 120 kg de K₂O ha⁻¹ em adubação de base e em cobertura aos 120 dias após o plantio foram utilizados 90 kg de N ha⁻¹. A adubação de manutenção foi realizada 45 dias após a colheita com 30 kg de N ha⁻¹, 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições, compostas por parcelas de quatro a seis linhas de dez metros de comprimento.

As variáveis utilizadas para a análise AMMI (Análise de efeitos principais aditivos e interações multiplicativas) foram produtividade de colmos (TCH, t ha⁻¹), de açúcar (TSSTH, t ha⁻¹) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs, g MJ⁻¹). Para o cálculo da TCH foi utilizada a equação:

$$TCH = (P10C/10) \times NCM \times (10/E) \quad (1)$$

em que: P10C é a massa de 10 colmos (kg); NCM é o número de colmos por metro; e E é o espaçamento (1,4 m).

As avaliações de sólidos solúveis totais (SST) foram realizadas em três diferentes colmos, com a amostragem em dois pontos por colmo, no terceiro entre nó abaixo do ponto de quebra do palmito e no terceiro entre nó acima do solo, com a utilização de um calador (coleta) e sua leitura em refratômetro digital portátil, as

quais foram utilizadas para o cálculo da produtividade de açúcar, obtida através da equação:

$$TSSTH = (\text{valor médio do SST} \times TCH)/100. \quad (2)$$

Para o cálculo do uso de energia solar em produção foi utilizada a equação:

$$Ef Rs = (TCH/RAD) \quad (3)$$

onde: RAD é a radiação solar global acumulada da emergência a colheita.

Os dados meteorológicos de temperatura do ar, chuva e radiação solar global utilizados no trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - 8º Distrito de meteorologia.

Primeiramente foi realizada as análises estatísticas em separado para produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TSSTH) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs), juntamente com a análise de variância de cada ambiente (análises individuais). Posteriormente realizou-se a análise de variância conjunta, pois houve diferença entre os tratamentos. Através da análise de variância conjunta, detectou-se a significância para fonte de variação da interação entre genótipo e ambiente, mostrando que os melhores genótipos em um ambiente não são necessariamente ou melhores em outro, procedendo-se assim à análise de adaptabilidade e estabilidade, por meio do método AMMI (ZOBEL et al., 1988).

Os dados fenométricos e de qualidade da cultura e os dados meteorológicos foram organizados em planilhas eletrônicas, e as análises de variância, análise AMMI e os gráficos biplot foram realizados por meio do programa estatístico SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2009).

Foi utilizado um referencial teórico, adicional aos genótipos e ambientes avaliados pelo método AMMI, denominado de genótipo e ambiente ideal (G_i e A_i), proposto por (LIN; BINNS, 1988) e descrito por Pacheco et al. (2005), onde a superioridade agronômica de um genótipo deve ser avaliada comparativamente as produtividades máximas observadas em cada ambiente. Dessa maneira, um genótipo teoricamente ideal seria aquele que reunisse, ao longo dos ambientes de teste, a produtividade máxima.

5.3. Resultados e Discussão

Na análise de efeitos principais aditivos e interações multiplicativas no biplot AMMI1 para produtividade de colmos - TCH (Figura 1 a), os genótipos de cana-de-açúcar de maturação precoce que se posicionaram mais próximos da origem em relação ao eixo de interação IPCA1 foram os materiais RB016916 (G8), RB985867 (G10), RB855156 (G11, Testemunha) e RB975932 (G12), conferindo a estes alta estabilidade fenotípica para TCH e indicando ampla adaptação aos ambientes de teste. Destacaram-se os genótipos G8, G11 e G12, os quais obtiveram TCH superiores a média geral ($114,6 \text{ t ha}^{-1}$), alcançando a sétima ($115,3 \text{ t ha}^{-1}$), sexta ($117,6 \text{ t ha}^{-1}$) e a segunda ($124,3 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral, respectivamente.

De maneira geral, cinco genótipos (G13, G12, G4, G5 e G7) obtiveram produtividade de colmos (TCH) acima da testemunha (G11), apresentando uma superioridade de 8,0; 5,7; 1,0; 0,4 e 0,08%, respectivamente. Mas apenas o genótipo G12 apresentou estabilidade aliada a produtividade de colmos. Nadal (2009) no Paraná obteve resultado semelhante, verificando quatro genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce com produtividade de colmos superiores a variedade testemunha, com um ganho médio de produtividade de 3,3%.

Os genótipos RB015868 (G5) e RB016910 (G7) diferiram em interação (escores de IPCA1), mas assemelharam-se em média de TCH, enquanto o RB036152 (G3) e RB005935 (G4) assemelharam-se em interação (baixa estabilidade) e diferiram em média de TCH.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) em TCH foram o RB's 015895 (G6), 006996 (G1), 016913 (G13), 005935 (G4), 036145 (G2) e 036152 (G3), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, indicando a variação de produtividade de colmos destes genótipos entre os ambientes. Isso corrobora com resultados obtidos por Nadal (2009), no Paraná, que também observou genótipos com baixa estabilidade, ou seja, baixa previsibilidade de produção de colmos.

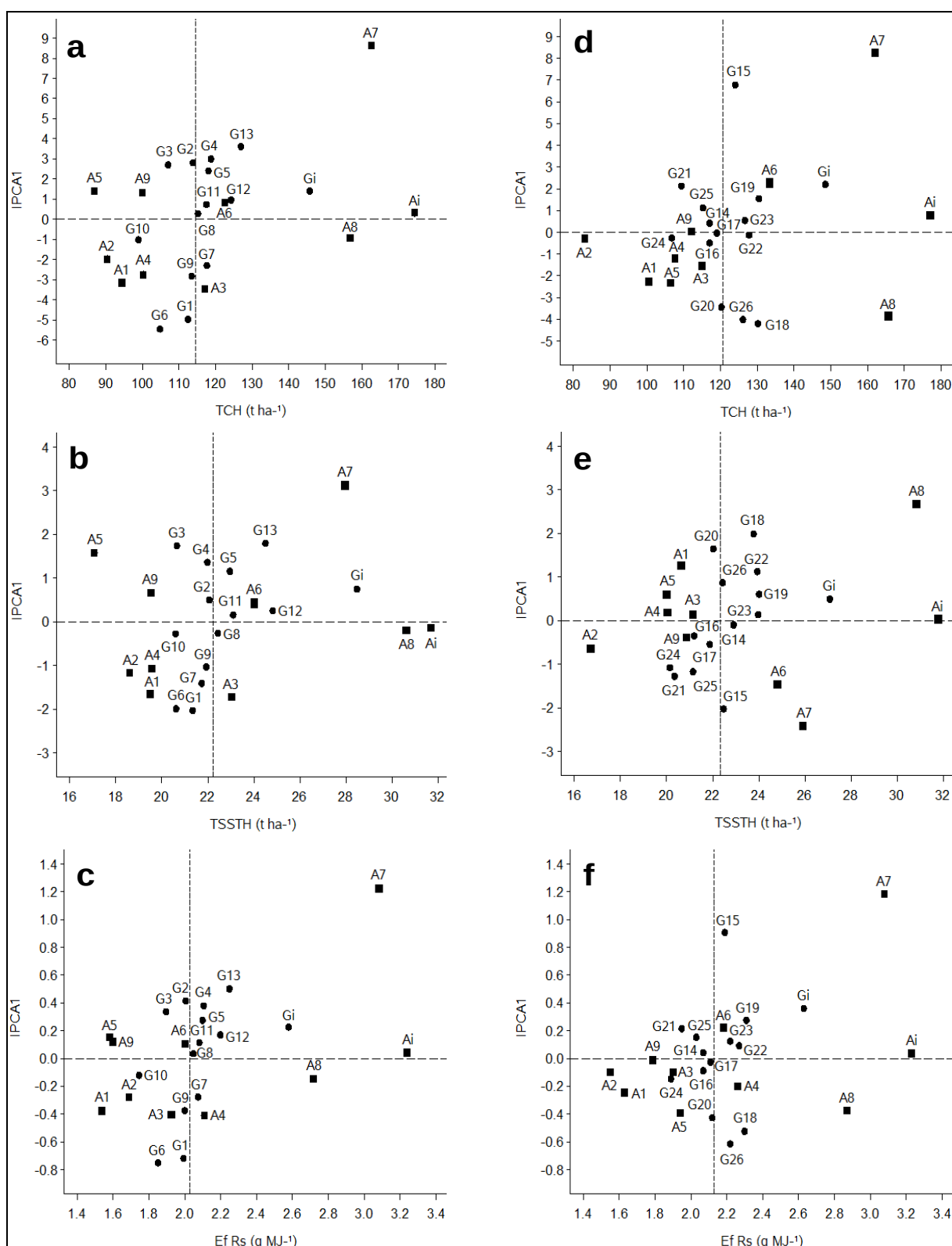


Figura 1 - Biplot AMMI1 no qual IPCA1 é a interação para produtividade de colmos (TCH), produtividade de açúcar (TSSTH) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs) de 26 genótipos (G) de cana-de-açúcar de maturação precoce (a, b, c) e médio-tardia (d, e, f), avaliados em nove ambientes (A), na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, nas safras 2012/13 (cana planta) e 2013/14 (cana 1° soca).

Entre eles destacou-se o genótipo G13 com elevada média de TCH, atingindo a primeira ($127,0 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral. Resultado semelhante foi observado por Rosa (2008), em Goiás, para um genótipo de cana-de-açúcar de ciclo precoce, o qual apresentou elevada produtividade de colmos e baixa estabilidade entre os ambientes de teste, com produtividade média de $130,6 \text{ t ha}^{-1}$, alcançando também a primeira posição geral.

Quanto à produtividade de açúcar (TSSTH), no biplot AMMI1 (Figura 1 b), verifica-se que os genótipos precoces mais estáveis e adaptados aos ambientes de teste foram os RB's 016916 (G8), 985867 (G10), 855156 (G11) e 975932 (G12), os quais se posicionaram mais próximos da origem em relação ao eixo de interação IPCA1, mantendo a estabilidade e a adaptação apresentadas por esses genótipos quanto à TCH, conferindo alta produtividade tanto de colmos como de açúcar, o que mostra o grande potencial desses materiais. Destacaram-se os genótipos G8, G11 (Testemunha) e G12 com médias de TSSTH superiores a média geral ($22,2 \text{ t ha}^{-1}$), alcançando a quinta ($22,4 \text{ t ha}^{-1}$), terceira ($23,1 \text{ t ha}^{-1}$) e a primeira ($24,8 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral, respectivamente, indicando o potencial de acúmulo de açúcar desses materiais.

Resultados semelhantes tanto para produtividade de açúcar quanto para estabilidade do genótipo testemunha RB855156, foram relatados por Mattos (2012) indicando excelente adaptação e potencial deste material no acúmulo de açúcar. O genótipo RB855156 também foi utilizado como testemunha nos trabalhos conduzidos por Guerra et al. (2009), no Paraná, e por Veríssimo et al. (2012), no Rio Grande do Sul, nos quais obteve alta produtividade de açúcar, entretanto, esse genótipo não se mostrou estável entre os ambientes.

De modo geral, dois genótipos (G12 e G13) apresentaram médias de produtividade de açúcar (TSSTH) acima da testemunha (G11), apresentando uma superioridade de 7,4 e 6,1%, respectivamente, mas apenas o genótipo G12 mostrou-se estável e produtivo, o que também ocorreu para produtividade de colmos (TCH). Produtividade de açúcar, estabilidade e adaptabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar com desempenho superior a testemunha RB855156 também foram identificados por Augusto (2009), Neto et al. (2008) e Guerra (2010), no Paraná, indicando a presença de genótipos promissores de cana-de-açúcar de ciclo precoce, com um ganho médio de produtividade em relação a testemunha de 9,5; 5,7 e 6,7%, respectivamente.

Os genótipos RB015868 (G5) e RB016916 (G8) diferiram em interação (escores de IPCA1), mas assemelharam-se em média de TSSTH, enquanto os genótipos RB036152 (G3) e RB016913 (G13) assemelharam-se em interação (baixa estabilidade) e diferiram em média de TSSTH.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram os RB's 006996 (G1), 015895 (G6), 036152 (G3), 016913 (G13) e 005935 (G4), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, indicando a variação de produção de açúcar destes genótipos entre os ambientes. Entre eles destacou-se o G13 com elevada média de TSSTH, atingindo a segunda ($24,5 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral, em razão do seu potencial de acúmulo de açúcar. No Paraná, Guerra (2010) e Mattos (2012) observaram comportamento semelhante onde um genótipo apresentou elevada produtividade de açúcar aliada à baixa estabilidade e isso sugere variação entre os ambientes de cultivo, porém estas condições não foram identificadas pelos autores.

Em relação à eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs) no biplot AMMI1 (Figura 1 c), observa-se que os genótipos precoces mais estáveis e adaptados aos ambientes de teste foram os RB's 016916 (G8), 985867 (G10), 855156 (G11) e 975932 (G12), os quais se posicionaram mais próximos da origem do eixo de interação IPCA1, confirmando a alta estabilidade fenotípica e adaptação verificada nas outras duas variáveis (TCH e TSSTH) para esses genótipos. Semelhantemente ao verificado com as variáveis TCH e TSSTH, os genótipos G8, G11 e G12 obtiveram Ef Rs superiores a média geral ($2,03 \text{ g MJ}^{-1}$), atingindo a sétima ($2,05 \text{ g MJ}^{-1}$), quinta ($2,08 \text{ g MJ}^{-1}$) e segunda ($2,20 \text{ g MJ}^{-1}$) posição geral, respectivamente, qualificando-os como amplamente adaptados aos ambientes de teste.

De maneira geral, quatro genótipos (G13, G12, G4 e G5) foram mais eficientes na conversão de energia solar em produção, superando a testemunha (G11) em 8,2; 5,8; 0,96 e 0,96%, respectivamente, e um (G7) não diferiu desta, sendo que destes apenas o genótipo G12 mostrou-se estável e eficiente, corroborando com o resultado das variáveis TCH e TSSTH.

Os genótipos RB016910 (G7) e RB855156 (G11) diferiram em interação, mas não em média de Ef Rs, enquanto o RB036152 (G3) e RB005935 (G4) assemelharam-se em interação e diferiram em média de Ef Rs.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram os RB's 015895 (G6), 006996 (G1), 016913(G13), 036145 (G2), 005935(G4) e 036152 (G3), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, indicando a variação de eficiência do uso de energia solar em produção destes genótipos entre os ambientes, confirmando a variação ocorrida para esses materiais nas outras duas variáveis (TCH e TSSTH). Entre eles destacou-se o genótipo G13 com elevada média de Ef Rs, alcançando a primeira (2,25 g MJ⁻¹) posição geral, sendo este o mais eficiente dos genótipos precoces no uso de energia solar em produção.

Em razão da sua elevada produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TSSTH), e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Rs) o genótipo RB016913 (G13) alcançou, respectivamente, a primeira (127,0 t ha⁻¹), segunda (24,5 t ha⁻¹) e primeira (2,25 g MJ⁻¹) posição geral e, dentre todos, foi o que mais se aproximou do genótipo ideal (Gi). No entanto, considerando os critérios estabilidade, produtividade e eficiência de conversão da energia solar em produção destaca-se o genótipo RB016916 (G8), apresentando produtividade de colmos e açúcar, e eficiência de conversão na ordem de 0,61; 0,90 e 0,99% acima da média geral, sendo o genótipo mais estável entre todos, entretanto, este não superou a testemunha (G11).

Os ambientes de maior destaque (Figura 1) para os genótipos de ciclo precoce foram A3 (Salto do Jacuí, cana planta), A6 (São Luiz Gonzaga, 1° soca), A7 (Santa Rosa, cana planta) e A8 (Santa Rosa, 1° soca), os quais apresentaram elevadas produtividades de TCH e TSSTH, superando a média geral. Entretanto, somente os ambientes A6 e A8 apresentaram alta estabilidade (aproximação do eixo de interação IPCA1), conferindo a estes melhor condição para adaptação e menor variação dos genótipos. Em relação à eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs), os ambientes de maior destaque foram A4 (Salto do Jacuí, 1° soca), A7 (Santa Rosa, cana planta) e A8 (Santa Rosa, 1° soca), com valores acima da média geral. Contudo, apenas o ambiente A8 se mostrou estável aproximando-se do eixo de interação IPCA1, o que confere a este uma melhor adaptação e eficiência de conversão de energia solar em produção dos genótipos testados.

Os ambientes que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram A1 (Porto Xavier, cana planta), A3 (Salto do Jacuí, cana planta) e A7 (Santa Rosa, cana planta), pois apresentaram a maior

magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, o que evidência a grande variação de produtividade de colmos e açúcar, e eficiência do uso da energia solar em produção dos genótipos nestes ambientes.

De acordo com Guerra (2010), a estabilidade ambiental informa sobre a confiabilidade no ordenamento dos genótipos em um dado ambiente de teste, em relação à classificação para média dos ambientes testados. Assim, ambientes de produção que apresentem alta estabilidade produtiva, como observado em A6 (São Luiz Gonzaga, cana 1° soca) e A8 (Santa Rosa, cana 1° soca), podem ter seus resultados extrapolados para outros ambientes. Podendo ser usados, por exemplo, na fase inicial do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar, que utiliza um grande número de genótipos, sem repetições e plantados em somente um local. Por outro lado, ambientes de alta instabilidade produtiva, ou seja, com alta contribuição para interação entre genótipo e ambientes, como A3 (Salto do Jacuí, cana planta) e A7 (Santa Rosa, cana planta), podem ser usados nos ensaios de competição de genótipos, pois facilitam a seleção de materiais superiores.

Em comparação com o ambiente ideal (Ai), o ambiente que mais se aproximou em termos de produtividade de colmos (TCH) e eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs) foi o A7 (Santa Rosa, cana planta), já em estabilidade, produtividade de colmos e açúcar, e eficiência de conversão foi o A8 (Santa Rosa, 1° soca).

No ambiente A7 (cana planta) foram observadas temperatura máxima de 37,4 °C, média de 20,7 °C e mínima de 0,9 °C, com radiação solar global acumulada de 5273,8 MJ m⁻² e precipitação acumulada de 1613 mm, apresentando maior estiagem no mês de novembro de 2012, atingindo 17 dias. No ambiente A8 (cana 1° soca) foram verificadas temperatura máxima de 36,1 °C, média de 19,1 °C e mínima de -2,8 °C, apresentando radiação solar global acumulada de 5767,1 MJ m⁻² e precipitação acumulada de 1831,6 mm, com maior estiagem no mês de outubro de 2013, atingindo 11 dias.

A maior produtividade de colmos apresentada pelos genótipos precoces em A7 ocorreu devido ao ciclo de cana-planta ser mais produtivo que o ciclo de cana 1° soca em A8, juntamente com o maior número de temperaturas favoráveis para o crescimento vegetativo, em detrimento daquelas favoráveis ao acúmulo de sacarose, e, por conseguinte este foi o ambiente mais eficiente no uso de energia solar em produção. Por outro lado, o A8 apresentou a maior produtividade de açúcar

dos genótipos devido à melhor maturação dos genótipos, promovida em razão do maior número de temperaturas abaixo de 16,0 °C, as quais são benéficas para o processo de maturação.

Para os genótipos de cana-de-açúcar de ciclo médio-tardio (Figura 1 d), observa-se para produtividade de colmos (TCH) estabilidade fenotípica e adaptação aos ambientes testes, para sete genótipos: RB005003 (G14), RB005017 (G16), RB006624 (G17), RB996519 (G22), RB996527 (G23), RB996532 (G24), RB867515 (G25, testemunha), os quais se posicionaram mais próximos da origem em relação ao eixo de interação IPCA1. No estado de São Paulo, Fernandes Junior et al. (2013) também verificaram alta estabilidade em TCH para testemunha RB867515, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Dentre estes se destacaram os genótipos G22 e G23 que superaram a média geral de TCH (120,7 t ha⁻¹), alcançando a terceira (127,9 t ha⁻¹) e a quinta (125,3 t ha⁻¹) posição geral, respectivamente.

De modo geral, dez genótipos (G19, G18, G22, G26, G23, G15, G20, G17, G16 e G14) apresentaram médias de produtividade de colmos maiores que a testemunha (G25) em 13,2; 13,0; 10,9; 9,5; 8,7; 7,6; 4,3; 3,3; 1,6 e 1,6%, respectivamente, sendo que os genótipos G22, G23, G17, G16 e G14 mostraram-se estáveis e produtivos. Resultados similares foram verificados em São Paulo por Fernandes Junior et al. (2013), que identificaram um genótipo de cana-de-açúcar de ciclo médio-tardio com produtividade de colmos superior a uma das testemunhas utilizadas em 3,5%, mas este apresentou baixa estabilidade. Entretanto, sete genótipos foram superiores a outra testemunha, com um ganho médio de produtividade de 7%, mostrando-se estáveis apenas três genótipos.

Os genótipos RB937570 (G18) e RB965560 (G19) diferiram em interação (escores de IPCA1), mas não em média de TCH, enquanto os genótipos RB005003 (G14) e RB996527 (G23) assemelharam-se em interação (estabilidade) e diferiram em média de TCH.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) em TCH foram os RB's 005014 (G15), 937570 (G18), 92579 (G26) e 975290 (G20), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, o que indica variação de produtividade de colmos destes genótipos entre os ambientes. Entre eles destacou-se o genótipo G18 que obteve a segunda

posição geral quanto à TCH, com $130,3 \text{ t ha}^{-1}$, os quais foram muito próximos aos $130,5 \text{ t ha}^{-1}$ produzidos pelo genótipo G19.

Observação semelhante foi relatada por Fernandes Junior et al. (2013) em São Paulo, que verificaram elevadas médias de TCH e baixa estabilidade para genótipos de cana-de-açúcar de ciclo médio-tardio.

Quanto à produtividade de açúcar (TSSTH) no biplot AMMI1 (Figura 1 e), verifica-se que os genótipos médio-tardios mais estáveis e adaptados aos ambientes de teste foram os RB's 005003 (G14), 005017 (G16), 006624(G17), 965560 (G19), 996527 (G23) e 92579 (G26), os quais se posicionaram mais próximos da origem em relação ao eixo de interação IPCA1, confirmando a estabilidade e adaptação observada em TCH para os genótipos G14, G16, G17 e G23, indicando alta produtividade tanto de colmos como de açúcar, o que mostra o grande potencial desses materiais no acúmulo de açúcar. Destacaram-se os genótipos G19, G23, G14 e G26 com médias de TSSTH superiores a média geral ($22,3 \text{ t ha}^{-1}$), alcançando a primeira ($24,0 \text{ t ha}^{-1}$), primeira ($24,0 \text{ t ha}^{-1}$), quinta ($22,9 \text{ t ha}^{-1}$) e sexta ($22,5 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral, respectivamente, o que evidencia o elevado acúmulo de sólidos solúveis totais dos genótipos G19 e G23.

De maneira geral, nove genótipos (G23, G19, G22, G18, G14, G15, G26, G20 e G17) obtiveram médias de produtividade de açúcar maiores que a testemunha (G25) na ordem de 13,2; 13,2; 12,7; 12,3; 8,0; 6,1; 6,1; 3,8 e 3,3%, entretanto, os genótipos G23, G19, G14, G26 e G17 mostraram-se estáveis e produtivos. Silva (2008), no estado de São Paulo, verificou resultado semelhante identificando dois genótipos de ciclo médio-tardio superiores a testemunha, com um ganho médio de produtividade de 18%. No entanto, em comparação com a outra testemunha utilizada seis genótipos foram superiores, com um ganho médio de produtividade de 9,4%, mas apenas um genótipo se mostrou estável.

Os genótipos RB005014 (G15) e RB92579 (G26) diferiram em interação (escores de IPCA1), mas assemelharam-se em média de TSSTH, enquanto os genótipos RB005003 (G14) e RB005017 (G16) assemelharam-se em interação e diferiram em média de TSSTH.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram os RB's 005014 (G15), 937570 (G18) e 975290 (G20), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, o que indica a variação destes na produção de açúcar entre os ambientes. Entre eles

destacaram-se os genótipos G15 e G18 com elevada média de TSSTH, atingindo a sexta ($22,9 \text{ t ha}^{-1}$) quarta ($23,8 \text{ t ha}^{-1}$) posição geral.

Em relação ao uso de energia solar em produção (Ef Rs) no biplot AMMI1 (Figura 1 f), observa-se que os genótipos médio-tardios mais estáveis e adaptados aos ambientes de teste foram os RB's 005003 (G14), 005017 (G16), 006624 (G17), 996519 (G22), 996527 (G23), 996532 (G24) e 867515 (G25, testemunha), os quais se posicionaram mais próximos da origem do eixo de interação IPCA1, confirmando o desempenho obtido por esses genótipos para TCH e indicando a elevada eficiência desses materiais em converter energia solar em produção de colmos. Destacaram-se os genótipos G22 e G23 com médias de Ef Rs superiores a média geral ($2,13 \text{ g MJ}^{-1}$), atingindo a terceira ($2,27 \text{ g MJ}^{-1}$) e a quarta ($2,22 \text{ g MJ}^{-1}$) posição geral, respectivamente.

De modo geral, dez genótipos (G19, G18, G22, G26, G23, G15, G20, G17, G16 e G14) foram mais eficientes no uso de energia solar em produção que a testemunha (G25) em 13,8; 13,3; 11,8; 9,4; 9,4; 7,9; 4,4; 3,9; 2,0 e 2,0, respectivamente. No entanto, os genótipos G22, G23, G17, G16 e G14 mostraram-se estáveis e eficientes, confirmando o resultado obtido para produtividade de colmos destes materiais.

Os genótipos RB005014 (G15) e RB92579 (G26) diferiram em interação, mas assemelharam-se em média de Ef Rs, enquanto os genótipos RB996527 (G23) e RB867515 (G25) assemelharam-se em interação e diferiram em média de Ef Rs.

Os genótipos que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram os RB's 005014 (G15), 937570 (G18), e 92579 (G26), pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, evidenciando a grande variação destes genótipos entre os ambientes. Entre eles destacou-se o genótipo RB937570 (G18) com elevada média de Ef Rs, alcançando a segunda ($2,30 \text{ g MJ}^{-1}$) posição geral, mostrando grande eficiência no uso de energia solar em produção.

O genótipo RB965560 (G19), foi o que mais se aproximou do genótipo ideal (Gi), em termos de produtividade de colmos e açúcar, e eficiência de conversão de energia solar em produção, em razão da sua elevada média de TCH, TSSTH e Ef Rs, alcançando a primeira ($130,5 \text{ t ha}^{-1}$; $24,0 \text{ t ha}^{-1}$; $2,31 \text{ g MJ}^{-1}$) posição geral nas três variáveis (TCH, TSSTH e Ef Rs). Entretanto, considerando os critérios

estabilidade, produtividade e eficiência de conversão foi o genótipo RB996527 (G23).

Para os genótipos de ciclo médio-tardio, os ambientes de maior destaque foram A6 (São Luiz Gonzaga, 1° soca), A7 (Santa Rosa, cana planta) e A8 (Santa Rosa, 1° soca), os quais apresentaram produtividade de colmos e açúcar, e eficiência do uso de energia solar em produção, superiores a média geral, além do A4 (Salto do Jacuí, 1° soca) com média do uso da energia solar em produção superior a média geral. Por outro lado, em termos de estabilidade destacaram-se os ambientes A3 (Salto do Jacuí, cana planta), A4 (Salto do Jacuí, 1° soca) e A9 (São Borja, 1° soca), os quais se aproximam do eixo de interação IPCA1, entretanto suas produtividades de colmos e açúcar, e eficiência do uso de energia solar em produção foram inferiores a média geral, com exceção do A4 (Salto do Jacuí, 1° soca) que apresentou média do uso de energia solar em produção superior a média geral.

Considerando a média das duas safras (2012/13 e 2013/14), o ambiente que apresentou a menor radiação solar global acumulada foi Porto Xavier (5058,1 MJ m⁻²) o que comprova a menor produtividade de colmos deste ambiente, enquanto que a maior radiação solar foi observada em São Borja (6256,2 MJ m⁻²), porém em razão do menor volume de chuvas (1107,2 mm) este ambiente não esteve entre os mais produtivos. Na média das duas safras, São Luiz Gonzaga apresentou o maior volume de chuvas (1925,7 mm) e juntamente com uma boa disponibilidade de radiação solar global (5804,0 MJ m⁻²), conferiu a este uma das melhores produtividades.

Os ambientes que mais contribuíram para interação entre genótipo e ambiente (baixa estabilidade) foram A7 e A8, pois apresentaram a maior magnitude de escore no eixo de interação IPCA1, indicando uma grande variação entre os genótipos nestes ambientes.

Em comparação com o ambiente ideal (Ai), o ambiente que mais se aproximou em produtividade de colmos (TCH) e produtividade de açúcar (TSSTH) foi A8 (Santa Rosa, 1° soca), para eficiência do uso de energia solar em produção (Ef Rs) foi o A7 (Santa Rosa, cana planta). Para estabilidade, produtividade e eficiência de conversão o mais próximo do ambiente ideal (Ai) foi o A3 (Salto do Jacuí, cana planta).

5.4. Conclusões

- i) Os genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio avaliados apresentam interação com os ambientes de cultivo.
- ii) Novos genótipos superam as variedades testemunhas precoce RB855156 e médio-tardia RB867515 em produtividade de colmos, de açúcar, eficiência do uso de energia solar em produção, estabilidade e adaptação.
- iii) Os genótipos RB975932 (G12) de ciclo precoce e RB996527 (G23) de ciclo médio-tardio destacam-se por apresentar elevada produtividade de colmos e açúcar, eficiência do uso de energia solar em produção, estabilidade e ampla adaptação aos ambientes de teste.
- iv) A variedade testemunha precoce RB855156 (G11) mesmo sendo considerada “antiga” apresentou elevada produtividade de colmos e açúcar, eficiência do uso de energia solar em produção, estabilidade e ampla adaptação aos ambientes de teste.
- v) Os genótipos RB016913 (G13) de ciclo precoce e RB965560 (G19) de ciclo médio-tardio possuem as maiores produtividades médias de colmos e eficiência do uso de energia solar em produção, entre todos os materiais avaliados, embora tenham apresentado baixa estabilidade.
- vi) O genótipo de ciclo médio-tardio RB965560 (G19) possui a maior produtividade média de açúcar, porém apresenta-se instável entre os ambientes.
- vii) São Luiz Gonzaga (A6 – cana 1° soca) e Santa Rosa (A8 – cana 1° soca) foram os ambientes de teste de maior estabilidade produtiva, para os genótipos de ciclo precoce, apresentando produtividade acima da média dos ambientes.
- viii) Santa Rosa (A7 – cana planta) foi o mais produtivo entre todos os ambientes de teste avaliados para os genótipos de ciclo precoce, embora com baixa estabilidade produtiva entre os materiais.
- ix) São Luiz Gonzaga (A6 - 1° soca), Santa Rosa (A7 - cana planta) e Santa Rosa (A8 - 1° soca) foram os ambientes de teste mais produtivos para os genótipos de ciclo médio-tardio, porém com baixa estabilidade.
- x) Salto do Jacuí, (A3 - cana planta), Salto do Jacuí (A4 - 1° soca) e São Borja (A9 - 1° soca) foram os ambientes de teste de maior estabilidade produtiva para os genótipos de ciclo médio-tardio, embora com produtividade abaixo da média dos ambientes de teste.

6. DISCUSSÃO GERAL

Em relação à tolerância ao frio, verifica-se que os ambientes que apresentaram as temperaturas mais rigorosas foram Porto Xavier e Salto do Jacuí, sendo que este segundo é considerado inapto ao cultivo de cana-de-açúcar pelo zoneamento agroecológico por apresentar temperatura mínima do ar abaixo do permitido pela cultura. Destacaram-se com melhor comportamento quanto à tolerância ao frio entre os genótipos de ciclo precoce como cana planta os RB's 006996 (G1), 016910 (G7), 036152 (G3), o que se repetiu apenas para o RB006996 em cana 1° soca, com destaque neste ano de cultivo também para os RB's 036145 (G2) e 975932 (G12). Entre os genótipos de ciclo médio-tardio aqueles que apresentaram o melhor comportamento quanto à tolerância ao frio como cana planta foram os RB's 996532 (G24), 937570 (G18) e 92579 (G26), enquanto que como cana de 1° soca foram os RB's 996527 (G23) e 996519 (G22).

Nas avaliações de maturação o melhor desempenho verificado entre os genótipos precoces nos dois anos de cultivo foi do RB015895 (G6), com sólidos solúveis totais (SST) médio de 20,9 °Brix entre todos os ambientes de teste. Apesar da grande variabilidade entre os genótipos de ciclo médio-tardio o melhor desempenho foi do RB005003 (G14), também confirmado nos dois anos de cultivo avaliados, com SST médio de 19,5 °Brix entre todos os ambientes de teste.

Porto Xavier apresentou nos dois anos de cultivo, condições ambientais que favoreceram a maturação dos genótipos tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio, apresentando o maior número de dias com temperaturas abaixo de 16,0 °C, as quais são fundamentais para o maior acúmulo de açúcar dos materiais no momento da colheita.

Os genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio apresentaram interação com os ambientes de teste nas variáveis analisadas: tonelada de colmos ha⁻¹, tonelada de sólidos solúveis totais ha⁻¹ e eficiência do uso de energia solar em produção. Destacam-se com ampla adaptabilidade, estabilidade, produtividade de colmos, açúcar e eficiência no uso de energia solar em produção nos ambientes de teste entre os genótipos de ciclo precoce os RB's

016916 (G8) e 975932 (G12), além da variedade testemunha RB855156 (G11). Para os genótipos de ciclo médio-tardio, os melhores resultados foram observados para os RB's 996519 (G22) e 996527 (G23). Os genótipos mais produtivos foram o RB016913 (G13) de ciclo precoce e o RB965560 (G19) de ciclo médio-tardio, entretanto estes mostraram baixa estabilidade, ou seja, grande variação produtiva entre os ambientes de teste.

Os ambientes onde os genótipos se mostraram mais produtivos e eficientes no uso de energia solar em produção foram São Luiz Gonzaga (A6 – cana 1º soca), Santa Rosa (A7 – cana planta) e Santa Rosa (A8 – cana 1º soca), os quais apresentaram as melhores condições ambientais para a produção dos genótipos.

7. CONCLUSÃO GERAL

O desempenho agronômico dos genótipos de ciclo precoce e médio-tardio avaliados permitiu a identificação de materiais com ampla adaptação nos ambientes de teste durante os dois anos de cultivo, apresentando elevada produtividade, eficiência do uso de energia solar em produção, estabilidade, tolerância ao frio e excelente qualidade.

8. REFERÊNCIAS

ALFONSI, R. R. Agrometeorologia e sua importância para uma agricultura racional e sustentável. In: SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, J. A. **Variabilidade e mudanças climáticas: Implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: Eduem, 2000. p. 213-223.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 32, n. 05, p. 1441-1448, 2008.

ALMEIDA, I. R; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C; ANTUNES, L. E. C.; ALBA, J. M. F.; MATZENNAUER, R.; RADIN, B. Zoneamento agroclimático para produção de morango no Rio Grande do Sul. **(Documentos, 283)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 28p.

ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. 2 ed. rev. e amp. Lavras: UFLA, 2006. p. 25-67.

ARANTES, F. C. **Interação genótipo x ambiente, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. 2013. 94p.

ARGENTON, P. E. **Influência das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Piracicaba, São Paulo**. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. 2006.110p.

AUGUSTO, R. **Avaliação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em genótipos de cana-de-açúcar, Série RB96**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. Universidade Estadual do Maringá. 2009. 66p.

BACCHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugarcane growth. In: Congress of the international society of sugarcane technologists, London. **Anais**. v. 2, p.1733-1741. 1978.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p.195-203, 2007.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Stemma Press: Woodbury Minnesota, 2002. 369p.

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4º ed. Viçosa: UFV, 2005. 525p.

BRINHOLI, O. **Resistência ao frio de diferentes variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, 1972. 92p.

BRUNINI, O. **Zoneamento de culturas bioenergéticas no Estado de São Paulo**. 2007. Artigo em hipertexto. Disponível em <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/zoneamento/Index.htm>. Acesso em: 31 dez. 2014.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.205-218.

BURGOS, J. J. **Las heladas en la Argentina**. INTA, Buenos Ayres, 1963. 388p.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.31-64.

CAPUTO, M. M.; BEAUCLAIR, E. G. F.; SILVA, M. A.; PIEDADE, S. M. S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, p.15-23, 2008.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; HERTER, F. G.; HAUAGGE, R.; GONÇALVES, S. L.; CITADIN, I.; SILVA, W. da. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.1040-1044, 2008.

CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climate effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 449-456, 2013.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; ANDRADE-LANDELL, M. G. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 57-78.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento – plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.673-713.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, quarto levantamento, abril/2014 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília, p. 1-14, 2014.

CIB. Conselho de informações sobre biotecnologia. **Guia da cana-de-açúcar: Avanço científico beneficia o país. 2009**. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2014.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, v.27, p.295-309, 1992.

CRISPIM, J. E. **A cana-de-açúcar em Santa Catarina**. Secretaria de agricultura e abastecimento. Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina. Urussanga – SC, 2006.

CRISPIM, J. E.; CONTESSI, A. Z.; VIEIRA, S. A. **Manual da produção de aguardente de qualidade**. Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária, 2000. 333p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 1ª ed. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 3ª ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CUENCA, M. A. G.; NAZARIO, C. C. Caracterização agrossocioeconômica da atividade canavieira no Brasil, distribuição espacial da produção mundial entre 1961 e 2003 – Situação no Brasil entre 1990 e 2002. **(Documentos, 74)** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 24p.

CUNHA, G. R. **Meteorologia: Fatos e Mitos - 3**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 440p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1994. 212 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, J. B.; VENCovsky, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monográfica, 9).

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B. Mannitol and oligosaccharides as new criteria for determining cold tolerance in sugarcane varieties. **Food Chemistry**, v. 80, p. 451-461, 2003.

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B.; TEW, T. Indicators of freeze-damaged sugarcane varieties which can predict processing problems. **Food Chemistry**, v.87, p.119-133, 2004.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 433 p. (Colección Agricultura Tropical).

FARIA, P. N. **Utilização de técnicas multivariadas na análise da divergência genética via modelo AMMI com reamostragem “bootstrap”**. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 2012.130p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2ª Ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERNANDES JUNIOR, A. R.; ANDRADE, J. A. C.; SANTOS, P. C.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; CURSI, D. E. Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 72, p. 208-216, 2013.

FERNANDES JUNIOR, A. R.; JUNIOR, E. J. G.; MARCHETTI, L. B. L.; URASHIMA, A. S. Avaliação de diferentes tratamentos térmicos no controle do raquitismo-da-soqueira em cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 60-64, 2010.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Optimal replication in selection experiments. **Crop Science**, v.36, p.838-843, 1996.

GHELLER, A. C. A. Resultados da aplicação de maturadores vegetais em cana-de-açúcar, variedades RB72454 e RB835486 na região de Araras, SP. In: 4º Jornada Científica da UFSCar, São Carlos. **Anais**. 2001.

GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BESPALHOK FILHO, J. C. Stability and adaptability of early maturing sugarcane clones by AMMI analysis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p.260-267, 2009.

GUERRA, E. P. **Avaliação da adaptabilidade e estabilidade de clones precoces de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná. 2010.132p.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, p.93-99, 1996.

HALE, A. L.; VIATOR, R. P.; TEW, T. L.; VEREMIS, J. C.; BURNER, D. M. Breeding sugarcane for temperate and cold environments. International Society of Sugar Cane Technologists 10th Germplasm and Breeding/7th Molecular Biology Workshop, Maceio. **Anais**. 2011.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola: Julho de 2014.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/Agropecuaria/lspa/default_publ_completa.shtm>. Acesso em 11 de setembro de 2014.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p.107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, v.36, p.41-51, 1994.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.169-176, 2010.

KAKANI, V.G.; SURABHI, G.K.; REDDY, K.R. Photosynthesis and fluorescence responses of C4 plant *Andropogon gerardii* acclimated to temperature and carbon dioxide. **Photosynthetica**, v.46, p.420-430, 2008.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v.2, p.171-182, 2001.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M.; XAVIER, M. A.; BIDOIA, M. A. P.; PRADO, H.; SILVA, M. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SANTOS, A. S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B.; KANTACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I.A.; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D. Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil. (**Boletim Técnico, 197**). Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. 33p.

LAVORENTI, N. A.; MATSUOKA, S. Combinação de métodos paramétricos e não-paramétricos na análise de estabilidade de cultivares de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.653-658, 2001.

LEGENDRE, B.; TEW, T.; HALE, A.; BIRKETT, H.; EGGLESTON, G.; DUET, M.; STEIN, J. Stalk cold tolerance of commercial and candidate varieties during the 2010-2011 harvest season. **Journal American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 31, 2011.

LEITE, R. L. **Cultivares de cana-de-açúcar em solos da região norte do estado do Tocantins**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical. Universidade Federal do Tocantins. 2007. 65 p.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p. 193-198, 1988.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato (POTAFOS), 1987. p.113-118.

MALUF, J. R. T.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R.; MALUF, D. E. Zoneamento agroclimático atualizado para acultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando à produção de açúcar e álcool. (**Boletim técnico, 18**). Porto Alegre: FEPAGRO, 2008. 78p.

MANZATTO, C. V.; BACA, J. F. M.; PEREIRA, S. E. M. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: abordagem metodológica para integração temática de grandes áreas territoriais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 193-214.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JUNIOR, J. Z. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530p.

MARQUES, T. A.; GODINHO, A. M. M.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E.; MARQUES, M. O. Parâmetros biométricos e tecnológicos de cultivares de cana-de-açúcar para o oeste paulista. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, p. 46-51, 2007.

MATSUOKA, S. Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar. **Apostila**: Curso de qualificação em plantas industriais – Cana-de-açúcar. Maringá: UFPR/Senar, 1996. 34p.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2005. p. 225-274.

MATTOS, P. H. C **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no estado do Paraná pelos métodos AMMI e GGE biplot**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná. 2012.53p.

MAULE, R. F; MAZZA, J. A; MARTHA, G. B. J. R. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, v. 58, p. 295-301, 2001.

MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; NAMORATO, H.; OLIVEIRA, L. R.; SOARES, M. O. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.45-50, 2009.

NADAL, F. **Estabilidade e adaptabilidade de clones de cana-de-açúcar da série RB97 ciclo precoce no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná. 75p. 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1138-1144, 2009.

NETO, H. Z; DAROS, E; ZAMBON, J. L. C; FILHO, J. C. B; OLIVEIRA, R. A de; WEBER, E. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones precoces de cana-de-açúcar no estado do Paraná. **Scientia Agraria**,v. 9, p.283-289, 2008.

NOGUEIRA, H. M. C. de M. **Análise do potencial produtivo da cana-de-açúcar cultivada na região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria. 2011.225p.

OLIVEIRA, B. A.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 357-364, 2003.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; VENCovsky, R.; PINHEIRO, J. B.; OLIVEIRA, A. B. Use of supplementary genotypes in AMMI analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v.110, p.812-818, 2005.

PARANHOS, S. B. Zoneamento agroclimático para o Brasil. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 856p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” – USP. 2007. 125 p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 631-670.

POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T.; HAMAWAKI, R. L.; GUIMARÃES, S. L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 910-920, 2013.

PRADO, H. do. **Pedologia fácil: aplicações**. 3ª ed. Piracicaba: USP/ESALQ. 2011. 180p.

RAIZER, A. J.; VENCovsky, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2241-2246, 1999.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria prima e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP/ESALQ. 1996. 513p.

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v.64, p.211-227, 1999.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.65-77, 1999.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. **Apostila**. Botucatu: Instituto de Biociência, 1995. 101 p.

ROSA, C. O. **Interação de genótipos de cana-de-açúcar com ambientes no estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. 2008.48 p.

ROSSE, L. N.; VENCovsky, R.; FERREIRA, D. F.; Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p.25-32, 2002.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's Guide. Version 9.2. Cary: SAS Institute, 2009. 7869p.

SAGE, R.F.; KUBIEN, D.S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v.30, p.1086-1106, 2007.

SEGATO, S. V; PINTO. A. S.; JENDIROBA. E; NÓBREGA. J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP. ND-LIVROCERES, 2006.

SEPLAG. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 29 dez. 2014.

SILVA, M. A. Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. **Bragantia**, v.67, p.109-117, 2008.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.23-30, 2006.

SILVA, S. D. A.; GOMES, C. B.; UENO, B.; NAVA, D. E.; ALMEIDA, I. R.; THEISEN, G.; DUTRA, L. F.; VERISSIMO, M. A. A.; PANZIERA, W.; DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BESPALHOK FILHO, J. C. Recomendação de Variedades de Cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. **(Comunicado técnico, 292)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2012. 22 p.

SILVA, M. A.; LANDELL, M. G. A.; GONÇALVES, P. S.; MARTINS, A. L. M. Yield components in sugarcane families at four locations in the state of São Paulo, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, p. 97-106, 2002.

SILVA, S. D. A.; VERISSIMO, M. A. A.; EICHOLZ, E. D.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OLIVEIRA, R. A.. Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, ciclo de cana planta, safra 2008/2009. In: 3º Simpósio estadual de agroenergia, 3ª reunião técnica anual de agroenergia, **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOARES, F. U. **Estudo do potencial climático para cana-de-açúcar (*Sacharum* spp.) no Rio Grande do Sul por meio de Geoprocessamento: Estudo de caso no município de Jaguari**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geomática. Universidade Federal de Santa Maria. 2008. 77p.

SOUZA, V. Q.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L. Resistência de espécies arbóreas submetidas a extremos climáticos de geada em diferentes sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, v.41, p. 972-977, 2011.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. 2006.62p.

TAI, P.Y.P.; LENTINI, R.S. Freeze damage of Florida sugarcane. In: ANDERSON, D.L. **Sugarcane Handbook**. Florida Cooperative Extension, 1998.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) baseados em parâmetros do solo e clima.** Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 2003. 86p.

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p. 215-221, 2010.

VAN HEERDEN, P.D.R.; VAN ANTWERPEN, T.; RAMBURAN, S.; REDSHAW, K. A.; SNYMAN, S. J.; WEBSTER, T. M.; BERRY, S. D.; MAHER, G. W.; RUTHERFORD, R. S. Rapid bulking and testing of cold tolerant varieties imported from Louisiana. Proceedings of the South African Sugar Technologists, **Association** n. 82: p. 422 – 426, 2009.

VERISSIMO, M. A. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. 2012.81p.

VERISSIMO, M. A. A.; SILVA, S. D. dos A e; AIRES, R. F; DAROS, E; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.561-568. 2012.

VIANNA, M. dos S. **Risco climático para cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para sua minimização em diferentes regiões brasileiras.** Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 2014. 178p.

VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.237-246, 2014.

VICENTE, D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum**, v.26, p.301-307. 2004.

XIN, Z.; BROWSE, J. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. **Plant Cell and Environment**, v. 23, p.893-902, 2000.

WEAICH, K.; LUDLOW, M. M.; NIELSEN, P. J. Identification of traits and germplasm to improve sugarcane resistance to frost damage. **Proceedings of The Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Conference, p.256-260, 1993.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665-671, 2008.

WREGE, M. S. **Delimitação de regiões com potencial de cultivo econômico da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no estado do Paraná por meio da análise de riscos climáticos**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá. 2004. 98p.

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R. C.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, S. L. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, p.113-122, 2005.

ZAMBON, J. L. C.; DAROS, E. **Manual de experimentação para a condução de experimentos 3.**, Curitiba:UFPR, 2005. 49 p.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, A. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, p. 388–393, 1988.