

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



Tese

**Baixas temperaturas nas características agronômicas, produtividade e
qualidade em genótipos de cana-de-açúcar, no estado do Rio Grande do Sul**

William Rodrigues Antunes

Pelotas, 2018

William Rodrigues Antunes
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia

Baixas temperaturas nas características agronômicas, produtividade e qualidade em genótipos de cana-de-açúcar, no estado do Rio Grande do Sul

Tese 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 Doutor em Agronomia.

Orientador: Edgar Ricardo Schöffel

Co-orientador: Sergio Delmar dos Anjos e Silva

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A111b Antunes, William Rodrigues

Baixas temperaturas nas características agronômicas, produtividade e qualidade em genótipos de cana-de-açúcar, no estado do Rio Grande do Sul / William Rodrigues Antunes; Edgar Ricardo Schöffel, orientador; Sergio Delmar dos Anjos e Silva, coorientador. — Pelotas, 2018.

93 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Tolerância ao frio. 2. Temperatura do ar. 3. Condições meteorológicas. 4. Estresse abiótico. 5. Saccharum spp. I. Schöffel, Edgar Ricardo, orient. II. Anjos e Silva, Sergio Delmar dos, coorient. III. Título

CDD : 633.61

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

William Rodrigues Antunes
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia

Baixas temperaturas nas características agrônômicas, produtividade e qualidade em
genótipos de cana-de-açúcar, no estado do Rio Grande do Sul

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

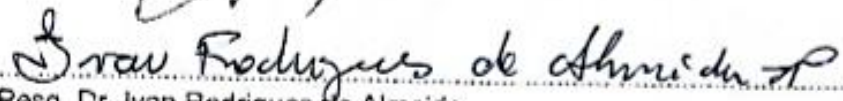
Data da Defesa: 26 de outubro de 2018.

Banca examinadora:


Prof. Dr. Edgar Ricardo Schnöffe (Orientador)
Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho"


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


Prof. Dr. Gabriel Frankel Brixner
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria.


Pesq. Dr. Ivan Rodrigues de Almeida
Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

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.

A toda minha família, que sempre me incentivou e nunca mediu esforços para que meus sonhos se realizassem.

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.

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 Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado.

As Empresas e Instituições parceiras: Grandespe, Coopermil e Fepagro 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. **Baixas temperaturas nas características agronômicas, produtividade e qualidade em genótipos de cana-de-açúcar, no estado do Rio Grande do Sul.** 2018. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo essa cultura umas das mais importantes para o agronegócio brasileiro. No estado do Rio Grande do Sul a área cultivada com essa espécie é considerada pequena, se comparada aos principais estados produtores, representando menos de 0,5% da área plantada do país. No entanto, a cultura tem grande importância por estar associada às atividades desenvolvidas na agricultura familiar, relacionadas ao processamento de derivados e alimentação animal, sendo uma importante fonte de renda para muitas famílias gaúchas. Atualmente um dos grandes desafios enfrentados pelos pesquisadores e produtores de cana-de-açúcar no RS é alcançar uma maior estabilidade produtiva aliada a variedades mais adaptadas ao clima da região. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi identificar o efeito das baixas temperaturas em genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul. Os experimentos foram conduzidos em Pelotas, com avaliação de 20 genótipos de cana-de-açúcar e em Salto do Jacuí, São Borja e Santa Rosa, com avaliação de 10 genótipos, durante dois anos agrícolas. Foram avaliados a qualidade do caldo por meio do potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT) e sólidos solúveis totais (SST), o nível de dano por frio (NDF) de maneira visual, atribuindo-se notas de 1 a 5, a produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TSSTH) e a eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es). Os resultados mostram que há variabilidade para tolerância ao frio, qualidade do caldo, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção nos genótipos avaliados. Em Pelotas/RS a temperatura mínima do ar registrada durante os dois anos agrícolas avaliados foi de -1,8 °C, na safra 2016/17, não havendo danos severos aos genótipos estudados, com notas de NDF variando de 1 a 3, não comprometendo a qualidade e a produtividade final. Nos demais ambientes durante os dois anos de avaliação foram registradas temperaturas mínimas do ar de -3,0 °C e -3,7 °C em Salto do Jacuí/RS, nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente, causando danos significativos aos genótipos, com notas de NDF variando entre 4 e 5, observando-se na última época de avaliação reduções de qualidade do caldo e provável queda na produtividade. Dentre os genótipos avaliados destacam-se o RB006996, RB016916, RB931003 e RB92579, os quais apresentaram os melhores desempenhos nas diferentes condições meteorológicas a que foram expostos nos diversos ambientes de estudo.

Palavras-chave: tolerância ao frio; temperatura do ar; condições meteorológicas; estresse abiótico; *Saccharum* spp.

Abstract

ANTUNES, William Rodrigues. **Low temperatures in the agronomic characteristics, productivity and quality in sugarcane genotypes, in the state of Rio Grande do Sul.** 2018. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, and this crop is one of the most important for Brazilian agribusiness. In the state of Rio Grande do Sul, the area cultivated with this species is considered small compared to the main producing states, representing less than 0.5% of the planted area of the country. However, the culture is of great importance because it is associated to the activities developed in family agriculture, related to the processing of derivatives and animal feed, being an important source of income for many gaúcho families. Actually one of the great challenges faced by researchers and producers of sugarcane in the RS is to achieve greater productive stability coupled with varieties more adapted to the climate of the region. In view of this scenario, the objective of this work was to identify the effect of low temperatures on sugarcane genotypes in the state of Rio Grande do Sul. The experiments were conducted in Pelotas, with evaluation of 20 sugarcane genotypes and in Salto do Jacuí, São Borja and Santa Rosa, with evaluation of 10 genotypes, during two agricultural years. The quality of the broth was evaluated through the hydrogenation potential (pH), titratable acidity (TA) and total soluble solids (TSS), the cold damage level (NDF) in a visual way, assigning grades from 1 to 5, the yield of stalks (TCH) and sugar (TSSTH) and the efficiency of conversion of solar energy into production (Ef Es). The results show that there is variability for cold tolerance, broth quality, productivity and conversion efficiency of solar energy in production in the evaluated genotypes. In Pelotas/RS, the minimum air temperature recorded during the two evaluated agricultural years was -1.8 ° C, in the 2016/17 harvest, with no severe damage to the genotypes studied, with NDF scores ranging from 1 to 3, not compromising quality and final productivity. In the other environments during the two years of evaluation, minimum air temperatures of -3.0 ° C and -3.7 ° C were recorded in Salto do Jacuí / RS, in the 2015/16 and 2016/17 crops, respectively, causing damages to the genotypes, with NDF scores varying between 4 and 5, and in the last evaluation period, reducing the quality of the broth and the probable decrease in productivity. Among the evaluated genotypes are RB006996, RB016916, RB931003 and RB92579, which presented the best performances in the different meteorological conditions to which they were exposed in the different study environments.

Keywords: cold tolerance; air temperature; meteorological conditions; abiotic stress; *Saccharum* spp.

Lista de figuras

Figura 1. Zoneamento agroecológico da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Manzatto; Baca; Pereira (2010).	14
Figura 2. Esquema hipotético do balanço de radiação ao longo de 24 horas. Fonte: Adaptado de TUBELIS; NASCIMENTO, 1984.	21
Figura 3. Escala de avaliação de nível de dano por frio para cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.). Fonte: Antunes (2015).	38
Figura 4. Torre com sensores de temperatura do ar (A), mini-abrigo de PVC com sensor de temperatura do ar (B), caixa com sistema automático de armazenamento de dados, <i>datalogger</i> (C), Pelotas/RS, 2016.	40
Figura 5. Nível de dano por frio avaliado na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.	41
Figura 6. Nível de dano por frio avaliado na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.	48
Figura 7. Escala de avaliação de nível de dano por frio para cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.). Fonte: Antunes (2015).	61
Figura 8. Nível de dano por frio em genótipos de cana-de-açúcar, cultivados nos municípios de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja durante a safra 2015/16.	64
Figura 9. Nível de dano por frio avaliado em Salto do Jacuí-RS em duas épocas, safra 2016/2017.	69
Figura 10. Nível de dano por frio avaliado em São Borja-RS em duas épocas, safra 2016/2017.	73

Lista de tabelas

Tabela 1. Atividade e número de estabelecimentos que beneficiam ou processam derivados da cana-de-açúcar no Brasil e no Rio Grande do Sul.....	19
Tabela 2. Ambiente, safra, ciclo de cultivo e coordenadas geográficas dos quatro ambientes de teste com a cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.	31
Tabela 3. Local, código e coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa, safra 2015/16 e 2016/17.	33
Tabela 4. Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados no ambiente de Pelotas, durante dois anos agrícolas.....	35
Tabela 5. Temperaturas mínimas registradas em abrigo meteorológico da estação convencional localizada na Embrapa Clima Temperado e no topo do dossel da cultura, Pelotas, RS, 2016.	42
Tabela 6. Potencial hidrogeniônico (pH) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.....	43
Tabela 7. Acidez titulável do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.	45
Tabela 8. Sólidos solúveis totais (SST) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado Pelotas/RS.....	46
Tabela 9. Temperaturas mínimas registradas no abrigo meteorológico da estação convencional localizada na Embrapa Clima Temperado e no topo do dossel da cultura, Pelotas, RS, 2017.	47
Tabela 10. Potencial hidrogeniônico (pH) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.....	49
Tabela 11. Acidez titulável do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS	50

Tabela 12. Sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.....	51
Tabela 13. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.....	53
Tabela 14. Genótipos de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados nos ambientes de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja, no estado do Rio Grande do Sul.	58
Tabela 15. Temperaturas mínimas do ar favoráveis a formação de geada registradas durante o ano de 2016, nos municípios de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja.	63
Tabela 16. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável, e sólidos solúveis totais (SST) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados nos ambientes de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja no estado do Rio Grande do Sul, safra 2015/2016.	66
Tabela 17. Temperaturas mínimas do ar favoráveis a formação de geada registradas nos municípios de Salto do Jacuí e São Borja, durante o ano de 2017.	68
Tabela 18. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em duas épocas em Salto do Jacuí-RS, safra 2016/2017.	72
Tabela 19. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em duas épocas em São Borja-RS, safra 2016/2017.	75
Tabela 20. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Salto do Jacuí/RS.....	77
Tabela 21. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Santa Rosa/RS.....	79

Tabela 22. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, São Borja/RS.....81

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Caracterização e distribuição da cana-de-açúcar	16
3.2 Relevância da cultura da cana-de-açúcar	17
3.3 Temperatura do ar	20
3.4 Geada – generalidades sobre o fenômeno	21
3.5 Temperatura letal para a cana-de-açúcar	24
3.6 Danos e prejuízos causados por baixas temperaturas/geadas a cultura da cana-de-açúcar	25
4. METODOLOGIA GERAL	31
5. CAPÍTULO 1. Desempenho agrônomo de genótipos de cana-de-açúcar no município de Pelotas/RS	34
5.1 Introdução	34
5.2 Material e métodos	35
5.3 Resultados e discussão	41
5.4 Conclusões	55
6. CAPÍTULO 2. Tolerância ao frio, qualidade do caldo e produtividade de genótipos de cana-de-açúcar na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul	56
6.1 Introdução	56
6.2 Material e métodos	58
6.3 Resultados e discussão	63
6.4 Conclusões	84
7. CONCLUSÃO GERAL	85
8. REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

A área mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ocupa cerca de 27,0 milhões de hectares distribuídas em mais de 130 países, sendo uma das maiores áreas de cultivo agrícola no mundo (FAOSTAT, 2013).

O Brasil é o maior produtor mundial, visto que esta cultura tem grande importância para o agronegócio brasileiro. Na safra 2016/17 a área cultivada ultrapassou 9,0 milhões de hectares superando em 4,6% a safra anterior, com produtividade média de 72,6 t ha⁻¹ (CONAB, 2017). No estado do Rio Grande do Sul a área destinada para o cultivo desta espécie foi de pouco mais de 20 mil hectares, com produtividade média 42,7 t ha⁻¹ (IBGE, 2017), representando menos de 0,5% da área plantada do país. No entanto, tem grande importância por estar associada às atividades desenvolvidas na agricultura familiar, relacionadas ao processamento de derivados e a alimentação animal (RUGERI, 2015).

Nota-se que há uma grande variação na produtividade dos canaviais brasileiros, o que se dá principalmente devido as condições edafoclimáticas de cada região, variedades utilizadas para cultivo e manejo de acordo com o fim a que se destina a produção.

A cultura é fortemente influenciada pelas variações meteorológicas ao longo de todo seu ciclo vegetativo e durante o período de maturação, visto que os principais fatores ambientais que influenciam a produtividade são a temperatura do ar, disponibilidade hídrica e radiação solar (VIANNA; SENTELHAS, 2014). É importante salientar ainda que ao considerar as exigências climáticas de uma determinada cultura, seja para condições preferenciais ou limitações, estas serão diferentes de acordo com a fase fenológica da planta, podendo haver uma grande escala de comparação sobre qualquer variável meteorológica.

A cana-de-açúcar é uma espécie considerada sensível ao frio (TAI; LENTINI, 1998) e, apesar de ocupar as áreas tropicais e subtropicais, onde a geada não é um fenômeno de costume, quando esta ocorre, há declínios na produção (D'HONT et al., 2008). A ocorrência deste fenômeno pode causar danos severos à 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 acarretar em perda de qualidade do produto final. No caso de geadas intensas, ocorre

a morte das gemas dos colmos, ocasionando dano mais intenso conforme o maior número de gemas atingidas, resultando em invasão por patógenos, redução de sacarose e pureza, contribuindo para o aumento de acidez do caldo (MARIN et al., 2009). Além disso, a ocorrência de temperaturas de congelamento (abaixo de 0 °C) danificam colmos maduros antes da colheita, podendo prejudicar ainda a brotação das soqueiras (VERISSIMO, 2012).

Os estudos nesta cultura estão voltados principalmente para a tolerância ao déficit hídrico e a tolerância ao frio, sendo que a seca na região Central e a ocorrência de geadas nos estados do Sul são os principais estresses climáticos enfrentados pela cultura no Brasil (VERISSIMO, 2012). Avaliações de tolerância ao frio em variedades e genótipos promissores são comumente realizados na Austrália (WEAICH et al. 1993), África do Sul (VAN HEERDEN et al., 2009) e Estados Unidos (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004; HALE et al., 2011; LEGENDRE et al., 2011). Os parâmetros mais utilizados e de maior praticidade empregados em testes de tolerância ao frio são as avaliações da acidez titulável e pH do caldo, os quais analisam o teor de ácidos orgânicos produzidos pela ação dos microorganismos, a fim de determinar possíveis danos causados a qualidade final do caldo (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004). No Brasil, são poucos os trabalhos realizados relacionados à tolerância ao frio em cana-de-açúcar. Nas décadas de 70 e 80 foram realizadas avaliações por Brinholi (1972), Cesnik et al. (1978) e Bastos et al. (1983) em algumas variedades, porém estas estão ultrapassadas e não são mais cultivadas atualmente, sendo assim de grande importância avaliações de tolerância ao frio em novas variedades e genótipos.

No estado do Rio Grande do Sul o clima já foi apontado como fator limitante para expansão da cultura, devido à ocorrência de temperaturas baixas com grande risco de formação de geadas (ALMEIDA et al., 2008). No entanto, com o avanço das pesquisas realizadas pela Embrapa Clima Temperado, através da elaboração do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (Figura 1), o qual apontou 1,5 milhão de hectares com aptidão ao cultivo no RS, considerando 182 municípios aptos para o cultivo com fins de produção de etanol e açúcar e 216 municípios com potencial de plantio para outros fins, situados nas regiões da Depressão Central, Missões, Alto Uruguai e Litoral (MANZATTO; BACA; PEREIRA, 2010).



Figura 1. Zoneamento Agroecológico da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Manzatto; Baca; Pereira (2010).

Além da recomendação de novas áreas de cultivo, no ano de 2012 foi realizada a indicação de nove variedades adaptadas para o cultivo no RS, com especificações sobre as características agrônomicas e o manejo de cada variedade, disponibilizando maior nível tecnológico para a produção no estado (SILVA et al., 2012).

Outro importante avanço técnico foi a recente elaboração do “Sistema de produção da cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul”, o qual busca contribuir e auxiliar no desenvolvimento desta cultura no Sul do Brasil, abordando as principais tecnologias de produção e processamento da matéria prima, gerando melhorias tanto econômicas como sociais para os produtores (SILVA et al., 2016).

A cana-de-açúcar é uma cultura que tem grande contribuição para a sustentabilidade da agricultura familiar, seja diretamente pelos produtos processados, tendo 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), ou como alimentação animal, principalmente nos

meses de inverno onde há grande escassez de forragem, sendo uma excelente alternativa para os produtores, servindo como suplemento na dieta de bovinos de leite e de corte (RUGERI, 2015).

Um dos grandes desafios enfrentados pelos pesquisadores e produtores de cana-de-açúcar no RS é alcançar uma maior estabilidade produtiva aliada a variedades mais adaptadas ao clima da região, o que através das pesquisas realizadas pela Embrapa Clima Temperado, juntamente com as instituições parceiras como o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que integra a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), vem sendo sanado ao longo dos anos, o que amplia as perspectivas com a cultura no estado e evidência a importância do estudo proposto neste projeto.

Diante do exposto, a ocorrência de temperaturas baixas, principalmente aquelas abaixo de 2,5 °C, as quais desfavorecem o acúmulo final de açúcares (MALUF et al., 2008), juntamente com a formação de geadas nos meses que antecedem a colheita são os principais problemas encontrados para o cultivo e expansão da cultura no estado do Rio Grande do Sul, tornando-se de fundamental importância o estudo da tolerância ao frio de novos genótipos e variedades de cana-de-açúcar. Como hipótese tem-se que a avaliação e a indicação de genótipos tolerantes ao frio aumentará a diversidade de materiais que podem ser utilizados para o plantio, diminuindo os riscos de cultivo da cana-de-açúcar no estado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar o efeito das baixas temperaturas em genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar genótipos de cana-de-açúcar quanto a sua tolerância ao frio;
- Identificar as temperaturas capazes de causar dano aos colmos e meristema apical da cana-de-açúcar;
- Identificar os genótipos que apresentam melhor qualidade de caldo;
- Identificar os genótipos mais produtivos e eficientes na conversão de energia solar em produção.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão é uma contextualização de pontos básicos que compõem este trabalho. Desta forma, destaca-se a cultura da cana-de-açúcar e sua importância para a agricultura mundial e brasileira, o que se dá principalmente devido a sua múltipla forma de uso. Além disso, serão destacados pontos importantes para cultura relacionados a estresses abióticos provocados principalmente por baixas temperaturas e pela formação de geadas, onde serão descritos os principais danos e prejuízos provocados por esses fenômenos

3.1 Caracterização e distribuição da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, semi-perene, pertencente à família Poaceae (Gramineae), tribo Andropogoneae e do gênero *Saccharum* L.. Dentro deste gênero existem diversas espécies, visto que as mais importantes são: *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).

As variedades modernas de cana-de-açúcar produzidas atualmente são híbridos originados 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*, de menor rusticidade e adaptação, mas com alta concentração de açúcar, o qual recebe a denominação de *Saccharum* spp. (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

O seu centro de origem ainda hoje é motivo de discussão, no entanto regiões da Ásia são as mais citadas como prováveis berços da cultura da cana-de-açúcar (FIGUEIREDO, 2008).

A cana-de-açúcar é uma espécie cultivada tanto em clima tropical como subtropical, entre as latitudes 35° N e 30° S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1000 m (MAGALHÃES, 1987; DOORENBOS; KASSAM, 1994). Apesar de ser uma cultura 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 situam-se os países

da República Dominicana e do Haiti (FAUCONNIER; BASSEREAU, 1975). Enquanto que, no Brasil a cana-de-açúcar foi introduzida por Martin Afonso de Souza, em 1532, na capitania de São Vicente através de mudas provenientes da Ilha da Madeira (CESNIK; MIOCQUE, 2004), difundindo-se por todo país com o decorrer dos anos.

No Estado do Rio Grande do Sul, o cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido em 1725, nos municípios de Torres, Osório e Santo Antônio da Patrulha, estendendo-se pelo litoral norte, centro e norte-noroeste do Estado, visto que atualmente 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 RS (SEPLAG, 2016).

3.2 Relevância da cultura da cana-de-açúcar

No Brasil a cana-de-açúcar transformou-se ao longo dos anos em uma das principais culturas para a economia brasileira (MAPA, 2016).

A importância econômica desta cultura se dá devido a sua múltipla forma de uso e também pela alta demanda por seus principais produtos, 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; como matéria prima para produção de cachaça e aguardente; para alimentação de ruminantes e para a produção de derivados como a rapadura, açúcar mascavo e melado, os quais são os principais produtos do segmento artesanal do sistema produtivo da cana-de-açúcar, com importante participação na alimentação humana (SILVA et al., 2016). Além disso, seus resíduos também possuem grande importância econômica, como por exemplo, o bagaço da cana que é produzido em grande quantidade, e utilizado como fonte de energia, o vinhoto que é rico em substâncias orgânicas e minerais, com predominância de potássio, utilizado para adubação dos canaviais e a torta de filtro, resíduo rico em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídios, que pode ser utilizada para a alimentação de animais ou, ainda, como adubo (CAPUTO et al., 2008; CIB, 2009).

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 130 países, visto que os maiores produtores são o Brasil e a Índia, os quais representam mais da metade da produção mundial, seguidos da

China, Tailândia, Paquistão, México, Indonésia, Filipinas, Colômbia, Argentina, Estados Unidos, Cuba, Austrália, África do Sul, Vietnã e Guatemala, os demais países têm menor representatividade (FAOSTAT, 2013).

A área mundial de cana-de-açúcar ocupa cerca de 27,0 milhões de hectares, sendo uma das maiores áreas de cultivo agrícola no mundo, alcançando produção de 1,8 bilhões de toneladas (FAOSTAT, 2013), ficando atrás apenas das áreas cultivadas com trigo, milho, arroz, soja e pastagens.

No Brasil a área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2016/17 foi de aproximadamente 9,0 milhões de hectares, com produtividade média de $72,6 \text{ t ha}^{-1}$ e produção total de 657,2 milhões de toneladas, o que evidencia a grande importância econômica desta cultura para o país, com grande contribuição na matriz energética e em exportações de produtos desta cadeia produtiva. O estado de São Paulo, maior produtor, possui cerca de 52,7% da área plantada, seguido pelo estado de Goiás com 10,8%, Minas Gerais com 9,4%, Mato Grosso do Sul com 6,8%, Paraná com 6,8%, Alagoas com 3,6%, Pernambuco com 2,7% e Mato Grosso com 2,5%, visto que estes oito estados são responsáveis por 95,3% da produção nacional. Os outros 14 estados produtores de cana-de-açúcar possuem áreas menores que 1%, totalizando 4,7% da área total do país (CONAB, 2017).

O Rio Grande do Sul está entre os estados com menor representatividade em termos de área cultivada, com aproximadamente 20 mil hectares e produtividade média de $42,7 \text{ t ha}^{-1}$ (IBGE, 2017). No entanto, esta cultura tem grande importância social e econômica para o estado por estar associada às atividades desenvolvidas em pequenas propriedades, relacionadas ao processamento de produtos derivados da cana-de-açúcar e à criação de bovinos (SEPLAG, 2016). No RS esta cultura é produzida basicamente por agricultores familiares, principalmente por fatores de ordem econômica, sócio-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 às propriedades agrícolas familiares gaúchas (SOARES, 2008).

Segundo dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), o estado do RS representa cerca de 40% do total de estabelecimentos que produzem derivados de cana-de-açúcar no Brasil, tendo como principais produtos o melado, a rapadura e a aguardente, evidenciando assim a importância desta cultura para o RS (Tabela 1).

Tabela 1. Atividade e número de estabelecimentos que beneficiam ou processam derivados da cana-de-açúcar no Brasil e no Rio Grande do Sul.

Atividade	Número de estabelecimentos			
	Brasil		Rio Grande do Sul	
Produção de rapadura	14.680	100%	2.410	16,4%
Produção de aguardente	11.124	100%	1.056	9,5%
Produção de melado	17.436	100%	13.758	78,9%
Total	43.240	100%	17.224	39,8%

Fonte: Censo Agropecuário (IBGE, 2006).

Além disso, em épocas de baixa oferta de forragem, a cana-de-açúcar é amplamente utilizada na alimentação animal, sendo um importante suplemento em dietas de bovinos de leite e de corte no estado do RS (RUGERI, 2015).

No RS a pesquisa com cana-de-açúcar iniciou na década de 80, através de estudos realizados pela Embrapa Clima Temperado, entre os anos de 1982 a 1986, vinculado ao programa Pro-Álcool, com resultados promissores para o cultivo no estado. Entretanto, devido à crise no setor sucroalcooleiro, aliada falta de incentivo fiscal e também por questões políticas a cultura não avançou em grande escala no RS.

No ano 2005, através de uma parceria entre Embrapa Clima Temperado e Emater-RS, as pesquisas recomeçaram com a cultura no RS, com intuito de suprir a demanda gerada por agricultores da região noroeste do estado, principal região produtora de cana-de-açúcar.

Em 2006 firmou-se um vínculo de pesquisa entre Embrapa Clima Temperado e Universidade Federal do Paraná (UFPR), que pertence a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), dando início então a replantação dos primeiros experimentos no RS. Atualmente, diversas instituições públicas e privadas, cooperativas e demais órgãos fazem parte da “Rede de pesquisa com cana-de-açúcar para o sul do Brasil”, desenvolvendo tecnologias para a cultura da cana-de-açúcar.

Dentre os principais avanços desta pesquisa no RS, estão o zoneamento agroecológico (MANZATTO; BACA; PEREIRA, 2010), a recomendação técnica de cultivares adaptadas para o cultivo (SILVA et al., 2012) e o sistema de produção da cultura (SILVA et al., 2016). Através desses avanços torna-se promissora a expansão da cultura da cana-de-açúcar no RS, sendo assim uma excelente alternativa de produção e renda para muitas propriedades agrícolas familiares, as quais

representam uma grande parcela da economia do estado (MALUF et al., 2008; FEE, 2015).

3.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima a superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares (PEREIRA et al., 2007).

A temperatura mínima do ar ocorre próximo ao nascer do Sol, resultado de uma noite de resfriamento radiativo da superfície terrestre, visto que na presença de fenômenos capazes de perturbar o estado prevalecente da atmosfera, como por exemplo, a advecção de ar frio, altera-se a expectativa em relação ao provável horário de ocorrência da temperatura mínima do ar (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Existem diversos controladores da temperatura do ar como, por exemplo, a incidência diferenciada da radiação solar em função da latitude e da estação do ano, o aquecimento diferencial da terra e da água e as correntes oceânicas (AYOADE, 1996).

Sabe-se que o principal fator de controle da temperatura é o balanço de radiação, visto que este se dá através da contabilização de todos os fluxos ascendentes e descendentes de radiação, de ondas curtas ou de ondas longas (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984). No esquema abaixo estão representadas a radiação solar incidente e a emissão da superfície terrestre ao longo de 24 horas (Figura 2). De acordo com Tubelis; Nascimento (1984), os pontos A e B são os momentos onde o saldo de radiação é nulo, enquanto que, o intervalo AB é o período com saldo de radiação positivo, visto que antes do ponto A e depois do ponto B são os momentos onde o saldo de radiação é negativo. Sendo assim, o resfriamento do ar ocorre quando o saldo de radiação se encontra negativo, ocasionando assim a redução da temperatura do ar.

A temperatura mínima do ar é uma variável muito importante para a agricultura, pois está associada ao termo-período, horas de frio, ondas de frio e a outro fenômeno meteorológico, em geral, adverso à agricultura que é a geada (BERLATO; ALTHAUS, 2010).

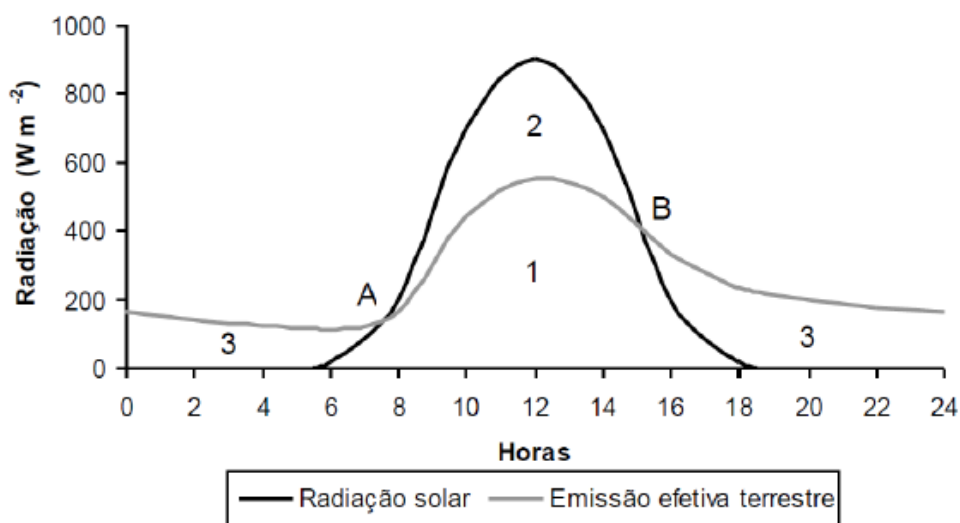


Figura 2. Esquema hipotético do balanço de radiação ao longo de 24 horas. Fonte: Adaptado de TUBELIS; NASCIMENTO, 1984.

De acordo com Berlato; Althaus (2010) as temperaturas mínimas do ar têm sofrido grande influência dos fenômenos El niño e La niña, visto que em anos de ocorrência do primeiro fenômeno há um aumento das temperaturas mínimas, enquanto que, o segundo fenômeno contribui para a diminuição das mesmas, o que evidencia a importância do monitoramento desta variável meteorológica para agricultura.

3.4 Geada – generalidades sobre o fenômeno

No Brasil, a geada é um fenômeno comum nas latitudes superiores a 19° S, que engloba os estados de Minas Gerais (Triângulo Mineiro e região Sul), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde sua ocorrência resulta em graves prejuízos econômicos, principalmente quando ocorrem precocemente no outono, ou tardiamente na primavera (PEREIRA et al., 2002).

Desta forma, a área com potencial de ocorrência de geadas compreende grande parte do território brasileiro, abrangendo estados que tem importante contribuição para o setor agrícola nacional.

No estado do Rio Grande do Sul, a ocorrência de geadas é comum nos meses de inverno, que compreende os meses de junho, julho e agosto, podendo ocorrer às chamadas geadas “precoces” (outonais) nos meses de abril e maio, e as geadas “tardias” (primaveris) no mês de setembro, visto que há maior probabilidade de ocorrência de geadas tardias do que precoces, sendo que os maiores valores de

probabilidade de ocorrência de geadas compreendem o segundo decêndio de julho (SOUZA et al., 2011).

A geada meteorológica é definida como um fenômeno adverso, o qual consiste na formação de gelo cristalino sobre as superfícies expostas ao ar livre, formando-se de maneira semelhante ao orvalho, mas com temperaturas inferiores a 0 °C (WMO, 2012). Enquanto que, a geada agrônômica é definida como um fenômeno atmosférico capaz de provocar a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caule, frutos, ramos), em função da baixa temperatura do ar, que acarreta congelamento dos tecidos vegetais, havendo, ou não, formação de gelo sobre a planta. A morte pode ser causada tanto por ventos muito frios soprando por muitas horas, como pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (PEREIRA et al, 2007).

Dentre os principais fatores que influenciam no resfriamento e posterior formação de geadas estão os de ordem física e meteorológica. Os fatores de ordem física são aqueles relacionados às características da superfície como: cobertura do solo, posição na superfície terrestre (altitude, latitude e continentalidade/maritimidade) e ainda a inclinação do eixo da Terra e seus movimentos de rotação e translação, visto que todos esses fatores influenciam diretamente no recebimento de energia solar e no balanço global de radiação. Enquanto que, entre os fatores meteorológicos destaca-se a advecção de ar frio promovido pelo deslocamento de massas polares sobre as zonas mais aquecidas do Planeta (SNYDER et al., 2010).

As geadas podem ser caracterizadas em diferentes tipos de acordo com a gênese (origem) do fenômeno e também com base nos aspectos visuais (aspecto das plantas) que elas produzem.

De acordo com a gênese as geadas podem ser classificadas em:

- Geada de advecção, resultante da advecção de ar frio pela incursão de anticiclones migratórios na retaguarda de sistemas frontais. Na maioria das vezes as condições meteorológicas associadas são: muitas nuvens, ventos moderados e fortes na baixa atmosfera, sem inversão de temperatura na camada limite, baixa umidade do ar e temperatura do ar abaixo de 0 °C durante a noite e pouco acima desse valor durante o dia. São comuns nesta situação as geadas do tipo “negra”, visto que os danos causados por este tipo de geada são tanto pelas baixas temperaturas, quanto pela injúria mecânica causada pela agitação contínua das plantas (PEREIRA et al., 2007; SNYDER et al., 2010).

- Geada de radiação, resultante da perda de energia da superfície devido a emissão de radiação infravermelha (onda longa) para a atmosfera durante a noite, gerando intenso resfriamento da superfície até atingir temperaturas inferiores a 0 °C. Geralmente este tipo de geada está associada à circulação anticiclônica, com presença de massa de ar frio e seco, vento calmo, pouca ou nenhuma nebulosidade, temperatura inferior a 0 °C durante a noite, baixa temperatura do ponto de orvalho e inversão térmica na camada limite. O resfriamento radiativo da superfície é um processo local e lento, por esta razão a geada de radiação é mais restritiva espacialmente do que a geada de advecção. São comuns nesta situação as geadas do tipo “branca” (PEREIRA et al., 2007; SNYDER et al., 2010).

- Geada mista, ocorre pela associação de condições meteorológicas favoráveis a formação dos dois tipos de geada (advecção e radiação), sucessivamente, ou seja, entrada de massa fria e seca, e subsequente estagnação sobre a região permitindo intensa perda radiativa durante a noite (PEREIRA et al., 2007; SNYDER et al., 2010).

Em relação ao critério visual de classificação as geadas podem ser divididas em dois tipos:

- Geada negra – ocorre quando a atmosfera tem baixa concentração de vapor d’água e a perda radiativa é intensa, causando resfriamento acentuado da vegetação, chegando à temperatura letal. Em função do baixo teor de umidade do ar, não há formação de gelo, por falta de água. Este tipo de geada é mais severo, pois a baixa umidade do ar permite a ocorrência de temperaturas bem menores (PEREIRA et al., 2007; BONINI, 2008; SNYDER et al., 2010).

- Geada branca – ocorre quando o intenso resfriamento noturno produz condensação de vapor d’água e seu congelamento sobre as plantas. Nesse caso, a concentração de vapor na atmosfera adjacente a superfície é mais elevada que na geada negra. Quando há mais umidade no ar, primeiro ocorre à condensação com liberação de calor latente, o que auxilia na redução da taxa de resfriamento. Portanto, a geada branca é menos severa que a negra (PEREIRA et al., 2007; BONINI, 2008; SNYDER et al., 2010).

A ocorrência de fenômenos como a formação de geadas, pode afetar de maneira negativa a agricultura, causando danos fisiológicos às plantas, reduzindo a produção e acarretando em prejuízos aos agricultores (AGUIAR; MENDONÇA, 2004). Portanto, o conhecimento sobre a distribuição espacial do risco de geada é importante

para a definição das regiões potenciais para a implantação de qualquer cultura, devendo-se excluir aquelas onde o risco é elevado (OLIVEIRA et al., 2012).

3.5 Temperatura letal para a cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura tropical, reconhecidamente sensível ao frio (TAI; LENTINI, 1998). No entanto, a temperatura mínima capaz de causar danos letais a esta cultura pode variar, o que está atrelado principalmente ao estágio de desenvolvimento, variedade, intensidade e tempo de exposição a este tipo de temperatura (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; MELO-ABREU; RIBEIRO, 2010). Outro fator importante que deve-se considerar é o processo de aclimação, que ocorre devido a redução gradual de temperatura nos dias que antecedem a ocorrência de baixas temperaturas, o que resultará em maior tolerância das plantas a este tipo de temperatura (LAKSHMANAN; ROBINSON, 2014).

Em relação aos danos diretos causados pelo frio na cana-de-açúcar, as três partes mais afetadas da planta por exposição a baixas temperaturas são: as folhas, o meristema apical e as gemas laterais. Destas, o meristema apical é o de maior relevância, pois acarreta na morte da planta, com posterior brotação lateral, gerando gasto de energia (sacarose), com consequente perda na produção e qualidade final do produto (BRIXNER, 2017).

Alguns estudos relacionados ao estresse abiótico provocado por baixas temperaturas foram realizados por Brinholi (1972), Bacchi; Souza (1978), Eggleston, Legendre e Tew (2004) e mais recentemente por Hale et al. (2016), Antunes (2015) e Brixner (2017), os quais identificaram temperaturas letais para os genótipos de cana-de-açúcar avaliados nas diferentes condições experimentais.

De acordo com Marin et al. (2009), a morte do meristema apical ocorre com temperaturas superiores às exigidas para a sobrevivência das gemas laterais.

Nas avaliações realizadas por Brinholi (1972) em ambiente controlado, foi identificado que o meristema apical das variedades sofreu danos letais com temperaturas que variaram de -3,3 a -4,4 °C, enquanto as gemas laterais com temperaturas em torno de -3,7 a -4,3 °C e as folhas apresentaram algum tipo de dano com temperaturas que variaram de -3,6 a -5,6 °C.

Em estudos realizados por Bacchi; Souza (1978), a morte do meristema apical ocorreu com temperaturas que variaram entre -1,0 °C a -3,3 °C, enquanto que as

gemas laterais morreram com temperaturas em torno de $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e as folhas com temperaturas variando entre $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Danos no meristema apical e gemas laterais também foram relatados por Eggleston, Legendre e Tew (2004), porém com temperaturas variando entre $-1,7$ e $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Antunes (2015) identificou em condições experimentais de campo que a temperatura mínima do ar registrada em abrigo meteorológico de $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi letal para alguns genótipos, causando morte do meristema apical. No entanto, grande parte dos genótipos estudados sofreu apenas oxidações nos tecidos vegetais ao redor do meristema apical, sem ocorrência de morte.

Em estudo realizado por Hale et al. (2016) foi verificado que temperaturas de $0,0$ a $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ foram capazes de causar a morte do meristema apical das variedades avaliadas.

Em avaliações realizadas a campo por Brixner (2017), não houve morte do meristema apical com temperatura do ar registrada no abrigo meteorológico de até $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que também foi observado quando a temperatura medida diretamente no dossel de plantas da cultura foi de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neste estudo também foi verificado que temperaturas abaixo de $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi letal para as cultivares avaliadas.

A variabilidade de temperaturas capazes de causar danos observada nos estudos acima, comprova a complexibilidade da influência da baixa temperatura na cana-de-açúcar, a qual não se restringe apenas a alterações morfológicas, mas também a processos fisiológicos e bioquímicos da planta (Van Heerden, 2014), sendo importante ressaltar que o tempo e a intensidade de determinada temperatura é fator primordial para a gravidade do dano (Eggleston, Legendre e Tew, 2004).

3.6 Danos e prejuízos causados por baixas temperaturas/geadas a cultura da cana-de-açúcar

As plantas têm tolerância variável à baixa temperatura, e, em espécies tropicais sensíveis ao resfriamento como é o caso da cana-de-açúcar, podem ocorrer danos mesmo quando estas são expostas a temperaturas superiores às de congelamento do tecido (SAGE; KUBIEN, 2007; KAKANI et al., 2008).

As folhas de plantas expostas e danificadas por resfriamento mostram inibição da fotossíntese, translocação mais lenta de carboidratos, taxas respiratórias mais baixas, geração de espécies reativas de oxigênio, crescimento lento, murcha foliar,

inibição da síntese proteica e aumento da degradação de proteínas existentes que envolvem a perda de função da membrana plasmática durante o resfriamento (TAIZ; ZEIGER, 2013). Estas modificações são causadas por disfunções em processos metabólicos promovidos por alterações das propriedades da membrana, mudanças na estrutura de proteínas e nas interações entre macromoléculas, além de inibição de reações enzimáticas (KAKANI et al., 2008; LIU et al., 2012).

As temperaturas de congelamento induzem a formação de gelo nos espaços intercelulares e na parede celular das plantas. Enquanto que, a formação de gelo extracelular ocorre porque o fluido intercelular tem um ponto de congelamento mais elevado do que o citoplasma. Assim, quando o gelo se forma extracelularmente ocorre uma queda brusca do potencial de água no exterior da célula. Consequentemente, a água move-se a partir do citoplasma, através da membrana plasmática, por osmose, levando a desidratação celular. A quantidade de água retirada da célula vai depender da concentração inicial de solutos no citoplasma e da temperatura de congelamento, o que influencia diretamente no potencial hídrico (XIN; BROWSE, 2000).

A desidratação celular pode comprometer funções celulares de diversas maneiras. No entanto, pelo menos no caso de estresse por congelamento, as lesões normalmente envolvem efeitos sobre a estrutura e a função da membrana plasmática (UEMURA et al., 1995).

No geral as temperaturas mínimas do ar exercem grande influência sobre a cultura da cana-de-açúcar ao longo de todo seu ciclo vegetativo e durante o período de maturação, visto que temperaturas baixas em torno de 16,0 °C reduzem as taxas de crescimento vegetativo e estimulam o acúmulo de açúcares nesta cultura (MARIN et al., 2009). Por outro lado, temperaturas abaixo de 2,5 °C podem interromper ou limitar esse processo, desfavorecendo o acúmulo final de açúcares (MALUF et al., 2008).

De acordo com estudos realizados por Grodzki et al. (1996); Wrege et al. (2005); Caramori et al. (2008); Almeida et al. (2009), 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, as quais podem causar danos severos 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; EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004).

A geada está entre os mais importantes fatores climáticos que restringem o crescimento e o desenvolvimento das plantas, trazendo possibilidade de prejuízos consideráveis àqueles que produzem em períodos e locais com probabilidade de sua ocorrência (WREGGE et al., 2004).

Os efeitos da geada sobre a cultura da cana-de-açúcar possuem grande variação e dependem basicamente da intensidade da geada, da cultivar utilizada e das condições meteorológicas após a ocorrência do fenômeno (PLANALSUCAR, 1982). A seguir estão descritos cada um desses fatores:

- Intensidade da geada – a temperatura mínima do ar registrada e o número de horas em que as temperaturas permanecem baixas são os fatores mais importantes para determinação do nível de dano causado pela ocorrência da geada. O nível de dano pode variar desde a simples queima das folhas, morte do meristema apical, morte de gemas laterais superiores, até a morte total das gemas e da planta. A identificação no campo dos diferentes níveis de dano é muito importante na tomada de decisão sobre as atitudes a serem adotadas nos canaviais atingidos.

- Variedades de cana-de-açúcar – as variedades de cana apresentam diferente sensibilidade ao frio até determinadas temperaturas, visto que o teor de açúcar do caldo pode determinar algumas pequenas diferenças no ponto de congelamento do suco celular, o que significa que cultivares com maior teor de açúcar no momento da geada suportam temperaturas um pouco mais baixas que cultivares com menor teor de açúcar.

- Condições meteorológicas após a geada – altas temperaturas (entre 25 e 30 °C) e elevada umidade relativa do ar favorecem a infecção por fungos e bactérias, acelerando o processo de deterioração da cana atingida pela geada, prejudicando principalmente a qualidade da cana para industrialização. Nessas condições a cana não suporta mais que dois meses no campo, devendo-se assim acelerar o processo de industrialização logo após a ocorrência desse fenômeno. Por outro lado, com temperaturas baixas e pouca umidade após a geada, a deterioração da cana é mais lenta, o que mantém a qualidade da cana por um período maior de tempo para industrialização.

Para a avaliação dos danos causados pela ocorrência de baixas temperaturas/geadas na cultura da cana-de-açúcar são utilizados diversos parâmetros, desde avaliações visuais realizadas a campo até análises tecnológicas, referentes à qualidade do caldo da cana-de-açúcar destinada ao processamento.

As avaliações realizadas a campo para verificação de danos causados por baixas temperaturas/geadas na cultura da cana-de-açúcar se dão de maneira visual. Esse tipo de avaliação dever ser feita no mínimo uma semana após a ocorrência dessas condições, assim os sintomas tornam-se mais visíveis (PLANALSUCAR, 1982).

Na década de 70 foram utilizados por Brinholi (1972) e Bacchi; Souza (1978) como parâmetros de avaliação a morte de colmos e brotos, com base na coloração das folhas, para mensurar os danos em condições experimentais de campo.

Legendre et al. (2011) utilizaram como parâmetros de avaliação de tolerância ao frio em condições de campo os danos ocorridos em folhas e colmos.

Em estudo mais recente, Veríssimo (2012) avaliou o nível de estresse por baixas temperaturas/geadas em condições de campo utilizando os caracteres meristema apical morto, brotação lateral de gemas, brotação basal, nota geral e tombamento, através da adaptação da metodologia usada por Zambon; Daros (2005), com atribuição de notas que variaram de 1 a 5 para todos os caracteres utilizados.

Os testes qualitativos de caldo para mensurar os danos causados por baixas temperaturas/geadas são realizados utilizando-se parâmetros como: teor de sacarose, glicose e frutose, pH, acidez titulável, manitol, dextrano, polissacarídeos solúveis totais, pureza, viscosidade e filtrabilidade do caldo (EGGLESTON, 2002).

Em estudos realizados por Eggleston (2002), Eggleston; Legendre (2003), Eggleston; Legendre; Tew (2004) e Legendre et al. (2011) foram utilizados e testados diversos desses indicadores para mensurar danos causados por frio, com identificação de diferentes níveis de deterioração dos genótipos de cana-de-açúcar utilizados nestas pesquisas.

Os parâmetros mais utilizados e de maior praticidade empregados em testes de tolerância ao frio são a acidez titulável e o pH do caldo, os quais analisam o teor de ácidos orgânicos produzidos pela ação dos microorganismos, a fim de determinar possíveis danos causados a qualidade final do caldo (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004). No entanto, os parâmetros baseados na concentração de outros açúcares derivados de sacarose como manitol e dextrano são indicadores com maior predição da deterioração por danos de congelamento em cana-de-açúcar (EGGLESTON; LEGENDRE, 2003).

Dentre os principais danos causados por frio na cultura da cana-de-açúcar estão: o amarelecimento das folhas, morte do meristema apical e gemas laterais,

rachaduras longitudinais nos colmos, redução do teor de sacarose através da inversão desta para glicose e frutose, redução do açúcar total recuperável (ATR) e do açúcar recuperável (AR), redução da pureza, pH e filtrabilidade do caldo, aumento da acidez e viscosidade do caldo, além do aumento da concentração de metabólitos oriundos da atividade microbiana, como dextrano e manitol.

Eggleston; Legendre; Tew (2004) relata que a natureza e a extensão dos danos provocados por geadas à cana-de-açúcar dependem da temperatura e da duração deste fenômeno, com danos mais graves quando a geada é seguida de temperaturas e umidade do ar elevadas, o que favorece o crescimento microbiano. Após as lesões, células mortas e danificadas tornam-se vulneráveis à invasão microbiana, visto que, a entrada destes no tecido é facilitada por gemas laterais mortas e por rachaduras no colmo.

Em condições de campo foram avaliados por Veríssimo (2012) danos no meristema apical da cana-de-açúcar causados por baixas temperaturas, observando que os genótipos testados apresentaram níveis diferenciados de tolerância ao frio no final de ciclo.

Geralmente, a cana danificada pela ocorrência de geadas severas produz caldo de baixa pureza, maior acidez e quantidades anormais de polissacarídeos, particularmente dextrano (EGGLESTON; LEGENDRE, 2003).

A partir de avaliações de deterioração por baixas temperaturas em cana-de-açúcar, Eggleston; Legendre; Tew (2004) verificaram rachaduras nos colmos e oxidações nos tecidos, além de baixos níveis de sacarose, elevados níveis de dextrano e manitol, redução do pH, aumento da acidez, aumento da viscosidade e redução da filtrabilidade do caldo, com temperaturas que variaram entre -3,6 °C e -5,1 °C.

Em estudos mais recentes realizados por Legendre et al. (2011), foram verificadas reduções significativas no teor de sacarose, pureza, açúcar total recuperável (ATR) e pH do caldo, além de aumento da acidez do caldo, diante da ocorrência de geadas severas, com temperaturas que variaram entre -4,6 °C e -5,1 °C.

A exposição da cultura da cana-de-açúcar a geadas prejudiciais ocorre em mais de 20 dos 79 principais países produtores de cana-de-açúcar (LEGENDRE et al., 2011), sendo comum em muitas regiões produtoras de cana-de-açúcar no mundo, como a Louisiana, Índia, Austrália, Argentina e ocasionais na Flórida, México, Brasil e

Irã. No Brasil não há levantamentos específicos para quantificar perdas devido à ocorrência desse fenômeno na cultura da cana-de-açúcar, como ocorre em países como a Argentina e Estados Unidos. No entanto, alguns levantamentos realizados por usinas e pesquisadores da área informam perdas consideráveis (VERISSIMO, 2012).

Na Argentina são realizados estudos na Estação Experimental Agroindustrial de Obispo Colombres (EEAOC), situada na província de Tucumán, onde é monitorada a ocorrência de geadas e quantificados os danos provocados por estas na cultura da cana-de-açúcar (ROMERO et al., 2013), enquanto que, nos Estados Unidos estudos semelhantes são realizados na Fazenda Ardoyne do USDAARS - Unidade de pesquisa de cana-de-açúcar em Houma, Louisiana (EGGLESTON, 2002; EGGLESTON; LEGENDRE, 2003; EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004; LEGENDRE et al., 2011).

4. METODOLOGIA GERAL

As avaliações de produtividade, eficiência de conversão de energia solar em produção, qualidade do caldo e nível de dano por frio foram realizadas em 20 genótipos de cana-de-açúcar no município de Pelotas, nos campos experimentais da Embrapa Clima Temperado. Também foram realizadas estas mesmas avaliações em 10 genótipos nos municípios de Salto do Jacuí (Grandespe), Santa Rosa (Coopermil) e São Borja (Fepagro), durante as safras 2015/2016 e 2016/2017, totalizando quatro locais de teste, descritos na 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. Os genótipos e variedades avaliados foram 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 (UFPR), a qual possui vínculo de pesquisa com a Embrapa Clima Temperado.

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

AMBIENTE	SAFRA	CICLO	LAT. (S)	LONG. (O)	ALT. (m)
Pelotas/Embrapa	2015/16	Planta	31° 41' 07"	52° 25' 57"	60
Pelotas/Embrapa	2016/17	1° soca	31° 41' 07"	52° 25' 57"	60
Salto do Jacuí	2015/16	3° soca	29° 0' 30"	53° 13' 48"	361
Salto do Jacuí	2016/17	4° soca	29° 0' 30"	53° 13' 48"	361
Santa Rosa	2015/16	3° soca	27° 50' 31"	54° 26' 50"	342
Santa Rosa	2016/17	4° soca	27° 50' 31"	54° 26' 50"	342
São Borja	2015/16	3° soca	28° 41' 48"	55° 57' 58"	97
São Borja	2016/17	4° soca	28° 41' 48"	55° 57' 58"	97

"LAT (S)" latitude sul, "LONG (O)" longitude oeste e "ALT (m)" altitude em metros.

O clima da região que abrange os ambientes de estudo 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 °C, enquanto que no mês mais quente as máximas são superiores a 30 °C.

No experimento conduzido em Pelotas-RS as parcelas foram compostas de 3 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas 1,40 metros entrelinhas, com densidade de plantio de duas mudas por metro linear. Enquanto que, nos experimentos conduzidos em Salto do Jacuí-RS, Santa Rosa-RS e São Borja-RS as

parcelas foram constituídas por seis linhas de 10 metros de comprimento, espaçadas 1,40 m entrelinhas, com densidade de plantio de 18 gemas por metro linear. Para todos os experimentos adotou-se delineamento de blocos ao acaso com três repetições.

O transplante de mudas do experimento implantado em Pelotas-RS foi realizado no dia 30 de setembro de 2015, nos campos experimentais da Embrapa Clima Temperado, adotando-se o sistema manual de transplante.

O plantio dos experimentos conduzidos em Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja foi realizado na segunda quinzena de agosto de 2012, adotando-se o sistema convencional. No plantio, os colmos foram colocados inteiros e com palha dentro do sulco, sempre na disposição “pé com ponta”. Em seguida os colmos foram cortados em toletes de três gemas cada e os sulcos cobertos com aproximadamente 10 cm de solo.

A implantação, condução e avaliação dos ensaios foram realizadas conforme a metodologia proposta por Zambon; Daros (2005).

Para o estudo de tolerância ao frio dos genótipos foram avaliadas as seguintes variáveis durante as safras 2015/2016 e 2016/2017: potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT) e sólidos solúveis totais (SST) do caldo, além do nível de dano por frio (NDF) de maneira visual, atribuindo-se notas que variaram de 1 a 5, conforme escala proposta para avaliação, através do corte longitudinal do colmo, visto que, caso fossem identificadas notas diferentes para o mesmo genótipo, tomou-se como referência a nota atribuída que apresentasse o maior nível de dano na avaliação. Também durante estas mesmas safras foram realizadas avaliações fenométricas como: produtividade de colmos - expresso em tonelada de colmos por hectare (TCH), produtividade de açúcar - expresso em tonelada de sólidos solúveis por hectare (TSSTH) e eficiência da conversão de energia solar em produção (Ef Es), expresso em g MJ⁻¹.

A colheita do experimento conduzido em Pelotas-RS foi realizada no mês agosto para os genótipos precoces e no mês outubro para os genótipos médio-tardios na safra 2015/2016. Na safra seguinte foi realizada em julho e setembro, para os genótipos precoces e médio-tardios, respectivamente.

A colheita dos experimentos conduzidos em Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja foi realizada no mês de julho tanto na safra 2015/2016 quanto na safra 2016/2017.

Para o acompanhamento da variação vertical da temperatura do ar no dossel da cultura, foi instalada no experimento conduzido em Pelotas uma torre com sete sensores, dispostos em diferentes níveis e protegidos por mini abrigos, localizados no interior do dossel e acima do dossel (Interior do dossel - 0,75 m, Meristema apical - 1,55 m, Topo do dossel - 2,60 m, Primeiro acima do dossel - 3,50 m, Segundo acima do dossel - 4,0 m, Terceiro acima do dossel - 4,50 m e Quarto acima do dossel - 5,0 m) de plantas da cultura. Todos os sensores estão ligados a um sistema automático de aquisição de dados (*Datalogger*), alimentado por uma bateria de 12 V. Os dados de temperatura foram coletados a cada 10 segundos, sendo armazenada a temperatura mínima registrada a cada 30 minutos.

Além disso, foi realizado o acompanhamento dos dados meteorológicos deste ambiente através da estação meteorológica de Pelotas-RS, localizada na Embrapa Clima Temperado, cujas coordenadas geográficas são: 31° 40' 59" S, 52° 26' 10" O e altitude 57 m.

Nos experimentos conduzidos em Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja o acompanhamento dos dados meteorológicos foi realizado apenas através de estações automáticas, as quais são de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - 8° Distrito de Meteorologia. A localização das estações meteorológicas está descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Local, código e coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas na pesquisa, safra 2015/16 e 2016/17.

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

*Dados utilizados para o município de 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 - 8° Distrito de Meteorologia.

Os dados de qualidade do caldo, produtividade e eficiência da conversão de energia solar em produção foram submetidos a análise de variância pelo teste F e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software Genes (CRUZ, 2013). Os resultados de nível de dano por frio (NDF) foram apresentados em análise descritiva devido à origem categórica.

5. CAPÍTULO 1. Desempenho agrônômico de genótipos de cana-de-açúcar no município de Pelotas/RS

5.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. Na safra 2016/17 a área cultivada ultrapassou 9,0 milhões de hectares, superando em 4,6% a safra anterior, com produtividade média de 72,6 t ha⁻¹ (CONAB, 2017). No estado do Rio Grande do Sul a área destinada para o cultivo desta espécie foi de pouco mais de 20 mil hectares, com produtividade média 42,7 t ha⁻¹ (IBGE, 2017), representando menos de 0,5% da área plantada do país. No entanto, a cultura tem grande importância por estar associada às atividades desenvolvidas na agricultura familiar, relacionadas ao processamento de derivados e a alimentação animal (RUGERI, 2015), sendo uma importante fonte de renda para muitas famílias gaúchas.

Recentemente foi elaborado o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar para o RS, o qual apontou 1,5 milhão de hectares com aptidão ao cultivo nesta região do país, considerando 182 municípios aptos para o cultivo com fins de produção de etanol e açúcar e 216 municípios com potencial de plantio para outros fins, situados nas regiões da Depressão Central, Missões, Alto Uruguai e Litoral (MANZATTO; BACA; PEREIRA, 2010), aumentando as perspectivas desta cultura no Estado.

Mesmo assim, a realização de estudos envolvendo áreas fora do zoneamento é fundamental para a expansão da cultura, ampliando a exploração da rentabilidade e do potencial desta espécie na produção de matéria prima, tornando-a uma excelente alternativa em regiões onde o cultivo não é tradicional, como é o caso da Região Sul do RS, onde está situado o município de Pelotas. Em trabalhos realizados por Härter et al. (2011), Panziera et al. (2012) e Verissimo (2012) com a cultura nesta Região,

foram verificadas elevadas produtividades em níveis experimentais, com valores acima da média nacional, evidenciando o elevado potencial desta espécie, mesmo quando cultivada em áreas consideradas marginais pelo zoneamento.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de genótipos de cana-de-açúcar em Pelotas/RS, considerando parâmetros como qualidade do caldo, produtividade, eficiência de conversão de energia solar e tolerância ao frio.

5.2 Material e métodos

O ensaio foi conduzido no município de Pelotas-RS, nos campos experimentais da Embrapa Clima Temperado (31°41'07" S, 52°25'57" O e altitude 60 m) por dois anos agrícolas (2015/16 e 2016/17), avaliando-se 20 genótipos de cana-de-açúcar (Tabela 4), os quais foram desenvolvidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e implantados pelo Setor de Agroenergia da Embrapa Clima Temperado.

Tabela 4. Genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados no ambiente de Pelotas, durante dois anos agrícolas.

TRAT.	GENÓTIPOS	CICLO	TRAT.	GENÓTIPOS	CICLO
1	RB975932	P	11	RB931003	M-T
2	RB98TST	P	12	RB951541	M-T
3	RB006970	P	13	RB965560	M-T
4	RB006995	P	14	RB988082	M-T
5	RB006996	P	15	RB98710	M-T
6	RB016916	P	16	RB99368	M-T
7	RB036088	P	17	RB996519	M-T
8	RB036152	P	18	RB996527	M-T
9	RB966928	P	19	RB92579	M-T
10	RB855156*	P	20	RB867515*	M-T

TRAT – Tratamento; *Testemunha de ciclo precoce (P) e médio-tardio (M-T).

As variedades utilizadas como testemunhas foram escolhidas com base na recomendação técnica de variedades de cana-de-açúcar para o cultivo no estado do Rio Grande do Sul, que apresenta especificações sobre as características agrônômicas e o manejo de cada variedade (SILVA et al., 2012).

As parcelas foram compostas de 3 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas 1,40 metros entrelinhas, com densidade de transplante de duas mudas por metro linear. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três

repetições. A implantação, condução e avaliação dos ensaios foram realizadas conforme a metodologia proposta por Zambon; Daros (2005).

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens, com posterior formação dos sulcos, no espaçamento de 1,40 metros entre sulcos e profundidade de aproximadamente 20 cm, onde foi realizada a distribuição da adubação de base, cobrindo-os com aproximadamente 10 cm de solo, formando-se as linhas de plantio.

O plantio foi realizado adotando-se o sistema de mudas a partir de mini-toletes, adaptado da metodologia proposta por Landell et al. (2012). O preparo e o plantio dos mini-toletes foram realizados no mês de julho de 2015, utilizando-se gemas individuais da parte mediana do colmo para o plantio em tubetes contendo substrato comercial, marca Turfa Fertil®. Logo após o plantio, as mudas foram acondicionadas em casa de vegetação para brotação, crescimento e desenvolvimento por um período de 45 dias, com posterior aclimação ao ar livre (pleno sol) por um período de 15 dias, objetivando aclimatar as mudas para as condições de campo. Com aproximadamente 60 dias após o plantio, as mudas foram transplantadas para o ensaio de campo, sobre as linhas de plantio, no dia 30 de setembro de 2015, adotando-se o sistema manual de transplante com espaçamento de 0,50 m entre mudas.

As práticas de correção da acidez do solo (calagem), adubação de base, cobertura e manutenção foram realizadas conforme o resultado e interpretação da análise químicas do solo do local onde foi implantado o ensaio. O controle das plantas concorrentes foi realizado conforme a necessidade, utilizando-se cultivador mecânico e herbicidas recomendados para a cultura.

A colheita do ensaio foi realizada em duas etapas nos dois anos agrícolas, seguindo-se primeiramente com o corte dos genótipos precoces e posteriormente com o corte dos genótipos médio-tardios, para adequar a colheita de acordo com o ciclo dos genótipos, possibilitando assim a expressão do máximo desempenho produtivo nas condições experimentais. Na primeira safra (2015/16) a colheita foi realizada no mês agosto para os genótipos precoces e no mês outubro para os genótipos médio-tardios, enquanto que na safra seguinte foi realizada em julho e setembro, para os genótipos precoces e médio-tardios, respectivamente.

Foram realizadas avaliações de qualidade de caldo, nível de dano por frio, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção.

Os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade do caldo foram: potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT) e teor de sólidos solúveis totais do caldo (SST, °Brix).

As amostras de caldo foram obtidas a partir da coleta de três colmos ao acaso por parcela, em três épocas (E1, E2 e E3) para os genótipos precoces e quatro épocas (E1, E2, E3 e E4) para os médio-tardios na safra 2015/16, após a ocorrência da primeira temperatura favorável a formação de geada registrada no abrigo meteorológico. Na safra 2016/17 as amostragens foram realizadas em três épocas (E1, E2 e E3), após a ocorrência da primeira temperatura favorável a formação de geada registrada no abrigo meteorológico, tendo como base temperaturas mínimas registradas ≤ 4 °C, as quais são favoráveis a formação de geadas (WREGGE et al., 2005; CARAMORI et al., 2008; ALMEIDA et al., 2009; BRIXNER et al., 2014). O preparo das amostras foi realizado através da despalha, lavagem e secagem superficial dos colmos. Após o preparo foi realizada a extração do caldo em moenda da marca Vencedora Maqtron®, modelo B-721, a partir da moagem dos colmos da base até o meristema apical, descartando-se o palmito, objetivando extrair mais de 80% do caldo contido no colmo. O caldo obtido das amostras foi homogeneizado, preparando-se uma subamostra de 50 mL, utilizada para realização das análises.

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) do caldo foi realizada em pHmetro portátil marca HANNA®, modelo HI 98128, com compensação automática de temperatura entre -5 e 50 °C e precisão de $\pm 0,05$ pH.

A determinação da acidez titulável (AT) do caldo foi realizada a partir da titulação de solução base NaOH 0,1 N, sendo que o ponto de viragem é determinado pela medida do pH, com valor próximo de $8,3 \pm 0,02$, expressando os valores em mL de solução NaOH 0,1 N por 50 mL de caldo. As análises de potencial hidrogeniônico (pH) e acidez titulável do caldo foram realizadas conforme metodologia adaptada de Eggleston; Legendre; Tew (2004).

A avaliação do teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) do caldo foi realizada a partir de uma subamostra homogeneizada de aproximadamente 0,5 mL, através da leitura em refratômetro digital marca HANNA® modelo HI 96801, com compensação automática de temperatura entre 10 e 40 °C e precisão de $\pm 0,2\%$, expresso em °Brix.

O nível de dano por frio foi realizado nas mesmas épocas de avaliação de qualidade do caldo, de maneira visual, atribuindo-se notas de 1 a 5 para os danos conforme a escala proposta para esta avaliação, visto que, caso fossem identificadas notas diferentes para o mesmo genótipo, tomou-se como referência a nota atribuída que apresentasse o maior nível de dano na avaliação (Figura 3).

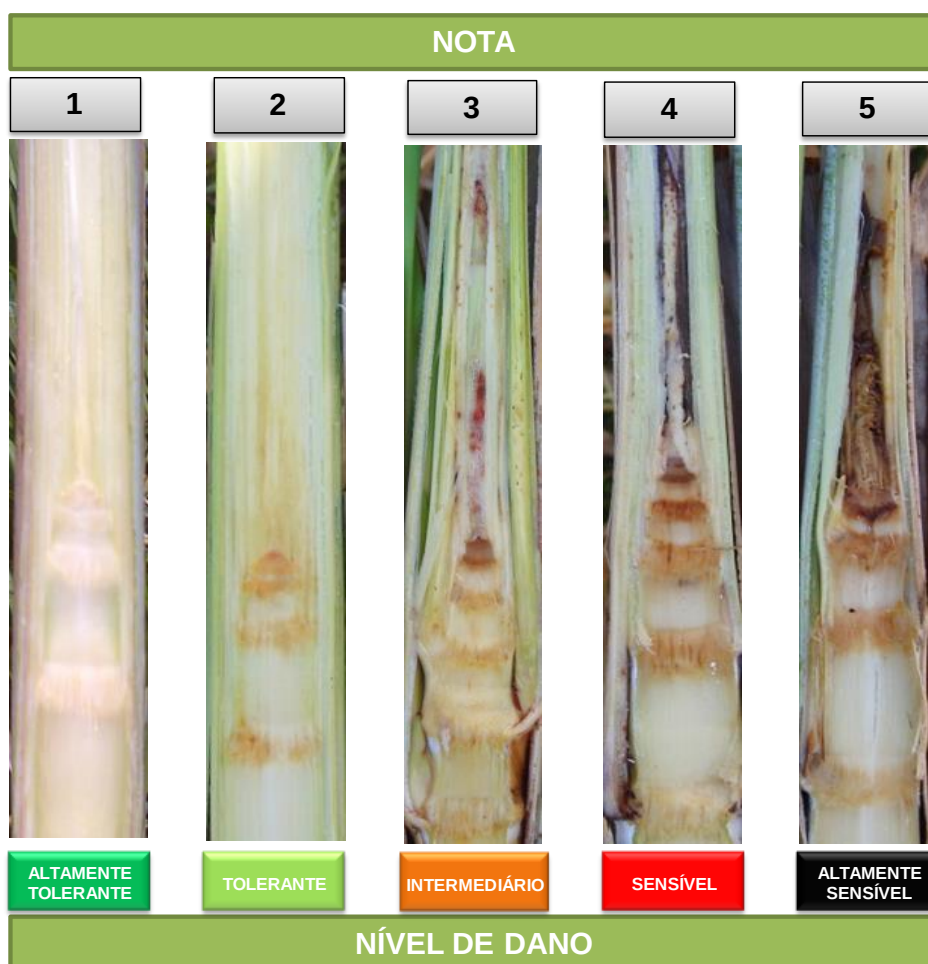


Figura 3. Escala de avaliação de nível de dano por frio para cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Fonte: Antunes (2015).

Foram amostrados três diferentes colmos por parcela, realizando o corte longitudinal e atribuindo-se as notas visuais (após o corte, a visualização e atribuição do nível de dano foi instantânea, para evitar erros de avaliação devido ao processo natural de oxidação dos tecidos), adotando-se 1 para genótipo altamente tolerante, onde não há visualização de danos, sem presença de oxidação dos tecidos vegetais; 2 para genótipo tolerante, onde há visualização de poucos danos, ocorrendo oxidação ao redor do ponto de crescimento (meristema apical) e dos primeiros entre nós abaixo do mesmo, mas com ausência de danos nos primórdios foliares; 3 para genótipo

intermediário, onde há visualização de danos, ocorrendo oxidação ao redor do ponto de crescimento, dos primeiros entre nós abaixo do mesmo e dano inicial nos primórdios foliares; 4 para genótipo sensível, onde há visualização de danos severos, ocorrendo oxidação acentuada ao redor do ponto de crescimento e de grande parte dos entre nós, além de dano intenso dos primórdios foliares; e 5 para genótipo altamente sensível, onde há visualização de danos mais severos, ocorrendo morte do meristema apical e primórdios foliares, com alta oxidação dos entre nós, apresentando podridificação e odor forte, além de possíveis brotações das gemas laterais.

A produtividade de colmos, expresso em toneladas de colmo por hectare (TCH), foi estimada através da equação:

$$TCH = (P2T(kg)) \times (10 \div E) \quad (1)$$

onde: P2T, peso de duas touceiras; E, espaçamento entre linhas.

A produtividade de açúcar por hectare, expressa em toneladas de sólidos solúveis totais (TSSTH) foi estimada através da equação:

$$TSSTH = (TCH \times SST \text{ médio}) \div 100 \quad (2)$$

em que SST (°Brix) é a leitura média de sólidos solúveis totais obtidos em três diferentes colmos, com a amostragem no terceiro entrenó abaixo do ponto de quebra do palmito e no terceiro entrenó acima do solo, com a utilização de um calador e leitura em refratômetro digital portátil, marca Atago®, modelo Pal-1, com compensação automática da temperatura.

A eficiência dos genótipos em converter energia solar em produção (Ef Es), expressa em g MJ⁻¹, foi calculada através da equação adaptada de Caron et al. (2012):

$$Ef Es = (TCH \div RAD) \times 100 \quad (3)$$

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

Os dados meteorológicos observados durante a condução dos ensaios foram obtidos junto à estação meteorológica convencional de Pelotas-RS, localizada na Embrapa Clima Temperado, cujas coordenadas geográficas são: 31° 40' 59" S, 52° 26' 10" O e altitude 57 m.

Para o acompanhamento da variação vertical da temperatura do ar no dossel da cultura, foi instalada no experimento conduzido em Pelotas uma torre com sete sensores, dispostos em diferentes níveis e protegidos por mini abrigos, localizados no interior do dossel e acima do dossel da cultura (Interior do dossel - 0,75 m, Meristema apical - 1,55 m, Topo do dossel - 2,60 m, Primeiro acima do dossel - 3,50 m, Segundo

acima do dossel - 4,0 m, Terceiro acima do dossel - 4,50 m e Quarto acima do dossel - 5,0 m) (Figura 4 A e B).



Figura 4. Torre com sensores de temperatura do ar (A), mini abrigo de PVC com sensor de temperatura do ar (B), caixa com sistema automático de armazenamento de dados, *datalogger* (C), Pelotas/RS, 2016.

Todos os sensores estão ligados a um sistema automático de aquisição de dados (*Datalogger*), alimentado por uma bateria de 12 V, com coleta de dados a cada 10 segundos, sendo armazenada a temperatura mínima registrada a cada 30 minutos (Figura 4 C). Os mini abrigos foram construídos de forma manual, utilizando-se canos de PVC de 150 mm, os quais foram cortados com 25 cm de comprimento.

Os dados de qualidade do caldo, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software Genes (CRUZ, 2013). Os resultados de nível de dano por frio (NDF) foram apresentados em análise descritiva devido à origem categórica.

5.3 Resultados e discussão

Nas avaliações de tolerância ao frio através do parâmetro nível de dano por frio (NDF) é possível observar na Figura 5 que os genótipos precoces RB975932, RB006996, RB016916 e RB966928 obtiveram nota 1, para as três épocas de avaliação na safra 2015/2016, indicando que as plantas dessas cultivares não apresentaram danos no meristema apical e tecidos vegetais quando submetidas a temperatura de até $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ no topo do dossel da cultura (2,60 m) e $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ no abrigo meteorológico, como pode ser observado na Tabela 5.

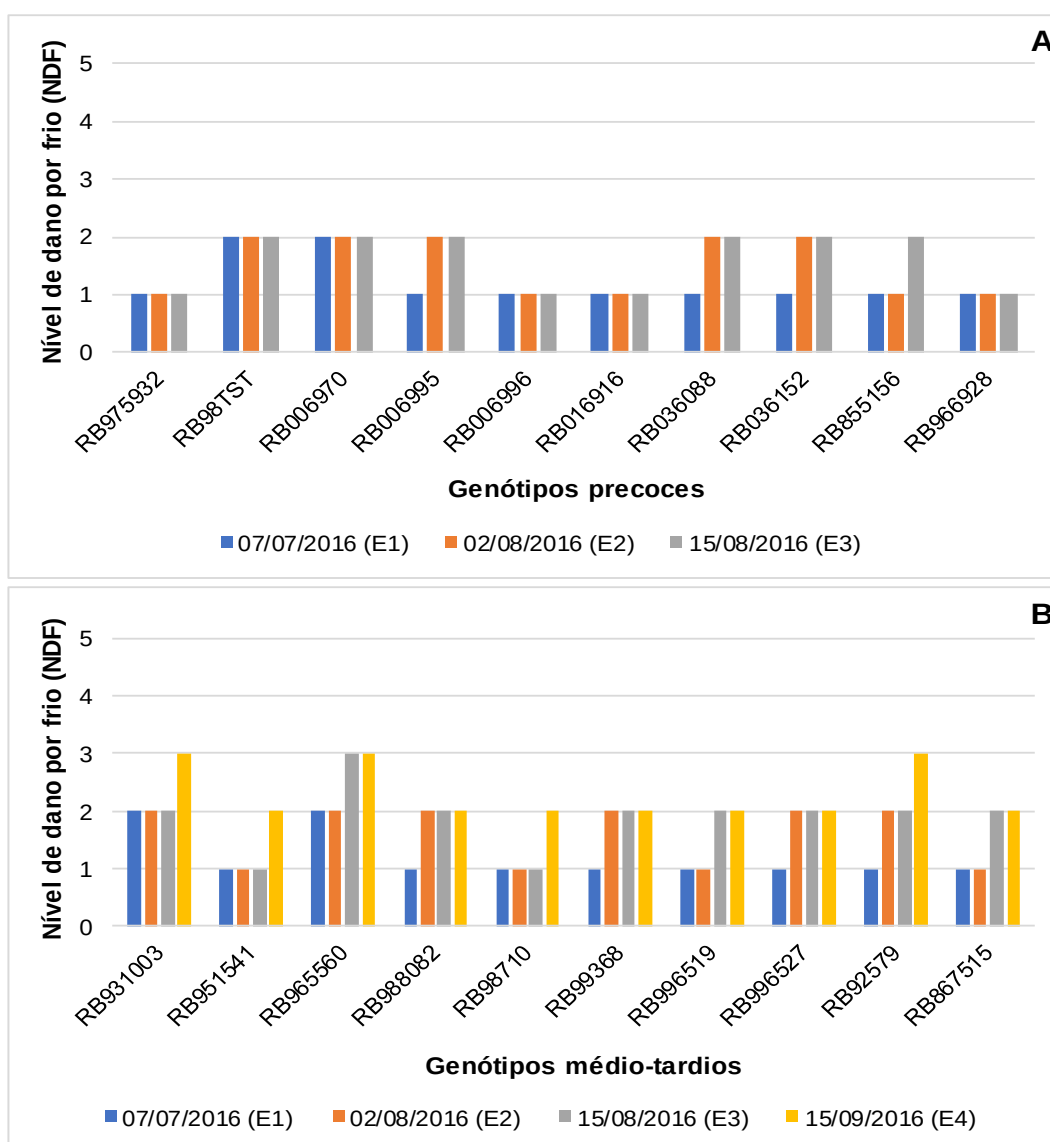


Figura 5. Nível de dano por frio avaliado na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

Nota-se, nessa tabela, que apesar da variação entre as temperaturas mínimas registradas na estação meteorológica e no topo do dossel da cultura, é possível identificar uma correlação ($R=0,718$) entre os valores, indicando que as oscilações de

temperaturas entre as duas situações de medidas estão associadas. As variações ocorridas podem estar associadas as diferenças concepcionais entre os abrigos meteorológicos onde estavam alocados os sensores de temperatura do ar ou as variações das condições micrometeorológicas (balanço de energia, velocidade e direção do vento, umidade do ar) e de relevo (condições topoclimáticas), entre o canavial e a estação meteorológica convencional, as quais dificultam a identificação com acurácia das temperaturas mínimas capazes de causar danos a cultura. Deste modo, infere-se que as temperaturas registradas no canavial, serão de maior representatividade para identificação das condições favoráveis para causar danos a cultura.

Tabela 5. Temperaturas mínimas registradas em abrigo meteorológico da estação convencional localizada na Embrapa Clima Temperado e no topo do dossel da cultura, Pelotas, RS, 2016.

Data	Temperatura mínima (°C)	
	Estação Convencional*	Dossel da cultura
08/06/2016	1,8	2,4
09/06/2016	4,0	4,7
10/06/2016	3,4	4,1
11/06/2016	3,1	4,1
12/06/2016	3,2	2,3
17/06/2016	4,0	2,2
18/06/2016	0,7	-0,3
16/07/2016	3,0	3,2
17/07/2016	2,5	4,4
19/07/2016	2,8	3,0
21/07/2016	2,5	1,4
22/07/2016	3,5	4,6
07/08/2016	4,0	3,6
21/08/2016	1,8	0,8

*Temperaturas mínimas, registradas em abrigo meteorológico, favoráveis a formação de geada.

Entre os genótipos médio-tardios destacam-se o RB951541 e RB98710 que apresentaram ausência de dano por frio (nota 1) nas três primeiras épocas de avaliação, com leve oxidação dos tecidos ao redor do meristema apical (nota 2) na última época de avaliação, realizada aos 98 dias após a ocorrência da primeira temperatura favorável a formação de geada registrada no ano de 2016.

Vale ressaltar que, em virtude dos valores das temperaturas mínimas, os danos por frio, verificados na safra 2015/16, foram de baixa intensidade, visto que a nota máxima atribuída foi 3 (Figura 5), conferindo nível de dano intermediário ao frio para os genótipos RB931003, RB965560 e RB92579 neste período.

Em relação a variável pH do caldo, observa-se na Tabela 6 que os genótipos RB016916, RB006996, RB98TST, RB006970, RB855156 (precoces), RB951541, RB996519, RB931003, RB965560 e RB988082 (médio-tardios) não diferiram entre as épocas de avaliação, com valores de pH que variaram entre 5,60 e 5,29.

Tabela 6. Potencial hidrogeniônico (pH) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

pH do caldo														
Genótipo	Ciclo	07/07/2016 (E1)			02/08/2016 (E2)			15/08/2016 (E3)			15/09/2016 (E4)			Média
RB016916	P	5,59	ab ¹	A	5,57	a	A	5,60	a	A	.	.	.	5,59
RB006995	P	5,68	a	A	5,56	a	AB	5,51	a	B	.	.	.	5,58
RB006996	P	5,58	ab	A	5,48	ab	A	5,47	a	A	.	.	.	5,51
RB975932	P	5,61	ab	A	5,40	ab	B	5,45	a	B	.	.	.	5,49
RB98TST	P	5,49	b	A	5,42	ab	A	5,55	a	A	.	.	.	5,49
RB855156*	P	5,45	b	A	5,49	a	A	5,52	a	A	.	.	.	5,49
RB966928	P	5,58	ab	A	5,42	ab	B	5,46	a	AB	.	.	.	5,48
RB006970	P	5,48	b	A	5,52	a	A	5,45	a	A	.	.	.	5,48
RB036088	P	5,49	b	AB	5,39	ab	B	5,53	a	A	.	.	.	5,47
RB036152	P	5,53	ab	A	5,31	b	B	5,46	a	A	.	.	.	5,43
Média		5,55			5,46			5,50						5,50
CV (%)		-			-			-						1,19
DMS (5%) para cultivar em cada época														0,13
DMS (5%) para época em cada cultivar														0,18
RB867515*	M-T	5,58	a	A	5,56	a	A	5,53	a	A	5,34	abc	B	5,50
RB98710	M-T	5,54	ab	A	5,48	ab	AB	5,46	a	AB	5,39	ab	B	5,47
RB996527	M-T	5,60	a	A	5,39	ab	B	5,45	a	AB	5,39	ab	B	5,46
RB951541	M-T	5,48	abc	A	5,42	ab	A	5,39	a	A	5,49	a	A	5,44
RB92579	M-T	5,54	ab	A	5,44	ab	AB	5,40	a	AB	5,33	abc	B	5,43
RB996519	M-T	5,50	ab	A	5,41	ab	A	5,40	a	A	5,39	ab	A	5,43
RB931003	M-T	5,44	abc	A	5,39	ab	A	5,46	a	A	5,37	abc	A	5,42
RB965560	M-T	5,40	bc	A	5,40	ab	A	5,43	a	A	5,29	bc	A	5,38
RB988082	M-T	5,31	c	A	5,43	ab	A	5,43	a	A	5,30	bc	A	5,37
RB99368	M-T	5,37	bc	A	5,35	b	A	5,37	a	A	5,20	c	B	5,32
Média		5,48			5,43			5,43			5,45			5,45
CV (%)		-			-			-			-			1,29
DMS (5%) para cultivar em cada época														0,15
DMS (5%) para época em cada cultivar														0,19

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação.¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Entre os genótipos precoces apenas o RB006995 foi superior a variedade testemunha RB855156 na primeira época de avaliação, visto que nas demais épocas não houve genótipos superiores a testemunha. Entre os genótipos médio-tardios, não houve superioridade em relação a variedade testemunha RB867515.

Vale ressaltar ainda, que durante os 38 dias de avaliação dos genótipos precoces, somente o RB006995 e o RB975932 apresentaram redução nos valores de pH do caldo. Comportamento este observado entre os médio-tardios para os genótipos RB98710, RB996527, RB92579, RB99368 e RB867515 (testemunha), durante os 68 dias de avaliação.

O potencial hidrogeniônico (pH) do caldo variou de 5,60 a 5,45 para os genótipos precoces e de 5,49 a 5,20 para os médio-tardios, na última época de avaliação, estando dentro da faixa considerada normal para o caldo de cana sem deterioração, que varia entre 5,0 e 6,0 (PRATI; CAMARGO, 2008).

Para acidez titulável do caldo é possível observar na Tabela 7 que os genótipos RB006995, RB016916, RB006996, RB036088, RB966928, RB98TST (precoces), RB965560 e RB99368 (médio-tardios) não diferiram entre as épocas, visto que os demais genótipos apresentaram variação nos valores de acidez entre as épocas de avaliação, não se mostrando estáveis nesta variável.

Entre os genótipos precoces a acidez titulável variou entre 4,7 a 7,3 mL, enquanto que para os médio-tardios variou entre 4,3 a 9,4 mL, na última época de avaliação (Tabela 7). Legendre et al. (2011) considerou como genótipos tolerantes ao frio aqueles que apresentaram valores de acidez titulável de até 10,9 mL, após a ocorrência de temperaturas do ar negativas.

No entanto, a variação nos valores de acidez titulável em caldo de cana não deteriorado pode ocorrer em função da variedade, tipo de solo e variações das condições meteorológicas, ou ainda em função da degradação microbiana de açúcares em caldo deteriorado, uma vez que esta variável mede indiretamente a quantidade de ácidos orgânicos presentes no caldo, principalmente o ácido D-lático (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004).

O genótipo RB006995 apresentou o menor valor de acidez titulável na primeira época de avaliação, diferindo da testemunha RB855156. Nas demais épocas não houve genótipos superiores a testemunha precoce, comportamento este verificado também para pH do caldo (Tabela 6).

Entre os médio-tardios, observa-se que o RB951541 e o RB988082 apresentaram os menores valores de acidez titulável, diferindo da testemunha RB867515 ao final das avaliações. Enquanto que, o genótipo RB996527 foi superior a testemunha na primeira época de avaliação, apresentando o maior valor de acidez (10,7 mL), no entanto, este genótipo apresentou redução dos valores de acidez na E4 quando comparado com a E1.

Tabela 7. Acidez titulável do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

Acidez titulável do caldo (mL de NaOH 0,1 N)														
Genótipo	Ciclo	07/07/2016 (E1)		02/08/2016 (E2)		15/08/2016 (E3)		15/09/2016 (E4)				Média		
RB006995	P	3,9	c ¹	A	4,9	a	A	5,9	a	A	.	.	4,9	
RB855156*	P	7,6	ab	A	5,9	a	AB	4,3	a	B	.	.	5,8	
RB016916	P	6,8	abc	A	5,0	a	A	6,0	a	A	.	.	5,9	
RB006996	P	5,8	bc	A	6,6	a	A	6,0	a	A	.	.	6,1	
RB036088	P	7,6	ab	A	7,1	a	A	5,0	a	A	.	.	6,6	
RB975932	P	5,1	bc	B	8,0	a	A	6,7	a	AB	.	.	6,6	
RB006970	P	8,7	ab	A	4,8	a	B	7,3	a	AB	.	.	6,9	
RB966928	P	7,1	abc	A	7,9	a	A	5,9	a	A	.	.	7,0	
RB036152	P	10,4	a	A	6,7	a	B	4,7	a	B	.	.	7,2	
RB98TST	P	8,2	ab	A	7,5	a	A	7,1	a	A	.	.	7,6	
Média		7,1			6,4			5,9					6,5	
CV (%)		-			-			-					20,8	
DMS (5%) para cultivar em cada época													2,6	
DMS (5%) para época em cada cultivar													3,6	
RB92579	M-T	5,6	de	AB	4,6	c	B	6,7	bc	AB	6,9	abcd	A	6,0
RB951541	M-T	6,3	cde	AB	7,8	a	A	5,6	c	AB	4,3	d	B	6,0
RB988082	M-T	7,6	cde	A	4,9	bc	B	7,4	abc	A	5,0	cd	B	6,2
RB931003	M-T	4,9	e	C	5,4	abc	BC	8,2	abc	A	7,1	abc	AB	6,4
RB867515*	M-T	7,6	bcd	A	5,2	abc	B	6,9	abc	AB	8,0	ab	A	6,9
RB965560	M-T	8,4	abc	A	7,2	abc	A	8,2	abc	A	7,3	abc	A	7,8
RB99368	M-T	8,8	abc	A	7,6	a	A	7,1	abc	A	8,4	ab	A	8,0
RB98710	M-T	8,0	abcd	AB	7,1	abc	B	7,6	abc	AB	9,4	a	A	8,0
RB996519	M-T	10,3	ab	A	6,3	abc	C	8,9	ab	AB	7,8	ab	BC	8,3
RB996527	M-T	10,7	a	A	7,4	ab	BC	9,4	a	AB	6,5	bcd	C	8,5
Média		7,8			6,4			7,6			7,3			7,2
CV (%)		-			-			-			-			14,0
DMS (5%) para cultivar em cada época													2,2	
DMS (5%) para época em cada cultivar													2,7	

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Para variável SST do caldo não houve diferença entre as épocas de avaliação para os genótipos precoces, não havendo superioridade em relação a testemunha RB855156, com destaque para o RB036088 e RB016916 que apresentaram valores

acima de 18,0 °Brix nas três épocas de avaliação (Tabela 8), valores estes considerados ideais para industrialização (FERNANDES, 2011) e que permitem a colheita destes dois genótipos no início da safra, em virtude da elevada precocidade apresentada. Enquanto que, os genótipos RB966928, RB98TST e RB855156 (testemunha), atingiram o valor ideal de SST em meados de agosto.

Tabela 8. Sólidos solúveis totais (SST) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2015/2016, Embrapa Clima Temperado Pelotas/RS.

SST do caldo (°Brix)													
Genótipo	Ciclo	07/07/2016 (E1)		02/08/2016 (E2)		15/08/2016 (E3)		15/09/2016 (E4)		Média			
RB036088	P	18,0	^{ns}	18,7		19,2		.	.	.	18,6	a ¹	
RB016916	P	18,1		18,5		19,0		.	.	.	18,5	a	
RB966928	P	17,6		17,3		18,5		.	.	.	17,8	a	
RB855156*	P	16,6		17,0		19,0		.	.	.	17,5	a	
RB006996	P	17,0		17,2		17,9		.	.	.	17,4	a	
RB006970	P	15,8		17,5		17,7		.	.	.	17,0	a	
RB98TST	P	15,2		16,9		18,1		.	.	.	16,7	a	
RB006995	P	15,9		16,0		17,8		.	.	.	16,6	a	
RB975932	P	15,7		15,8		17,5		.	.	.	16,3	a	
RB036152	P	15,6		15,3		17,3		.	.	.	16,1	a	
Média		16,5	A	17,0	A	18,2	A				17,3		
CV (%)		-		-		-					5,6		
DMS (5%) para cultivar em cada época											1,9		
DMS (5%) para época em cada cultivar											2,6		
RB988082	M-T	17,6	a A	17,4	ab A	19,2	a A	19,4	a A		18,4		
RB931003	M-T	17,7	a A	17,6	a A	18,2	ab A	18,4	ab A		18		
RB98710	M-T	16,4	ab A	17,3	ab A	17,6	ab A	17,7	ab A		17,3		
RB92579	M-T	15,5	abc B	16,8	abc AB	18,3	ab A	18,3	ab A		17,2		
RB965560	M-T	15,8	abc A	16,4	abc A	17,1	ab A	17,8	ab A		16,8		
RB996519	M-T	16,6	ab A	16,0	abc A	16,6	ab A	17,5	ab A		16,7		
RB867515*	M-T	16,0	abc A	17,5	ab A	16,5	ab A	16,3	b A		16,6		
RB99368	M-T	14,1	bc B	15,8	abc AB	17,1	ab A	16,4	b A		15,8		
RB951541	M-T	14,1	bc B	14,8	bc B	15,8	b B	18,4	ab A		15,8		
RB996527	M-T	13,4	c B	14,2	c B	16,9	ab A	17,6	ab A		15,5		
Média		15,7		16,4		17,3		16,5			16,5		
CV (%)		-		-		-		-			6,2		
DMS (5%) para cultivar em cada época											2,2		
DMS (5%) para época em cada cultivar											2,8		

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Para os genótipos médio-tardios observa-se que não houve superioridade em relação à testemunha RB867515, nas três primeiras épocas de avaliação. Na última época de avaliação apenas o RB988082 foi superior à testemunha, com SST do caldo

de 19,4 °Brix. Mesmo assim, destacam-se além do RB988082, os genótipos RB931003 e RB92579 com SST acima de 18,0 °Brix a partir da E3.

O menor valor registrado para temperatura mínima do ar na safra 2016/17 foi de 0,2 °C no abrigo meteorológico e de -1,8 °C no topo do dossel da cultura, nos dias 17 e 18 de julho de 2017, respectivamente (Tabela 9). Nota-se que, a maior diferença entre as duas situações de medida de temperatura foi de 4,8 °C, com tendência de temperaturas mais baixas no dossel da cultura se comparadas aquelas registradas no abrigo, evidenciando a importância do monitoramento das temperaturas *in loco*.

Tabela 9. Temperaturas mínimas registradas no abrigo meteorológico da estação convencional localizada na Embrapa Clima Temperado e no topo do dossel da cultura, Pelotas, RS, 2017.

Data	Temperatura mínima °C	
	Estação Convencional*	Dossel da cultura
19/06/2017	2,4	1,5
01/07/2017	2,7	3,0
16/07/2017	2,4	3,7
17/07/2017	0,2	-0,1
18/07/2017	3,0	-1,8
19/07/2017	2,4	-1,3
20/07/2017	2,7	-1,7

*Temperaturas mínimas registradas em abrigo meteorológico favoráveis a formação de geada.

Na avaliação de tolerância ao frio realizada na safra 2016/17, por meio da variável NDF apresentada na Figura 6, verifica-se que o genótipo precoce RB006996 não apresentou dano no meristema apical e oxidação nos tecidos vegetais (nota 1) nas três épocas de avaliação, comportando-se como altamente tolerante. Enquanto que, os genótipos de maior sensibilidade ao frio foram o RB006970 e RB036152, os quais apresentaram comportamento intermediário (nota 3).

Entre os médio-tardios a maior tolerância ao frio foi verificada para o genótipo RB996519, o qual não apresentou dano nas três épocas de avaliação. Enquanto que, os genótipos RB931003 e RB995560 mostram-se os mais sensíveis com comportamento intermediário ao frio (nota 3) a partir da segunda época de avaliação.

Para as avaliações de pH do caldo durante a safra 2016/17, observa-se entre os genótipos precoces que não houve interação dos fatores genótipos e épocas, verificando-se diferença apenas entre a média da primeira (E1) e da terceira (E3) época, com queda gradativa dos valores de pH ao longo das avaliações (Tabela 10). O pH médio apresentou variação de 5,58 (E1) a 5,34 (E3), indicando ausência de deterioração da cana, conforme sustentam Prati; Camargo (2008).

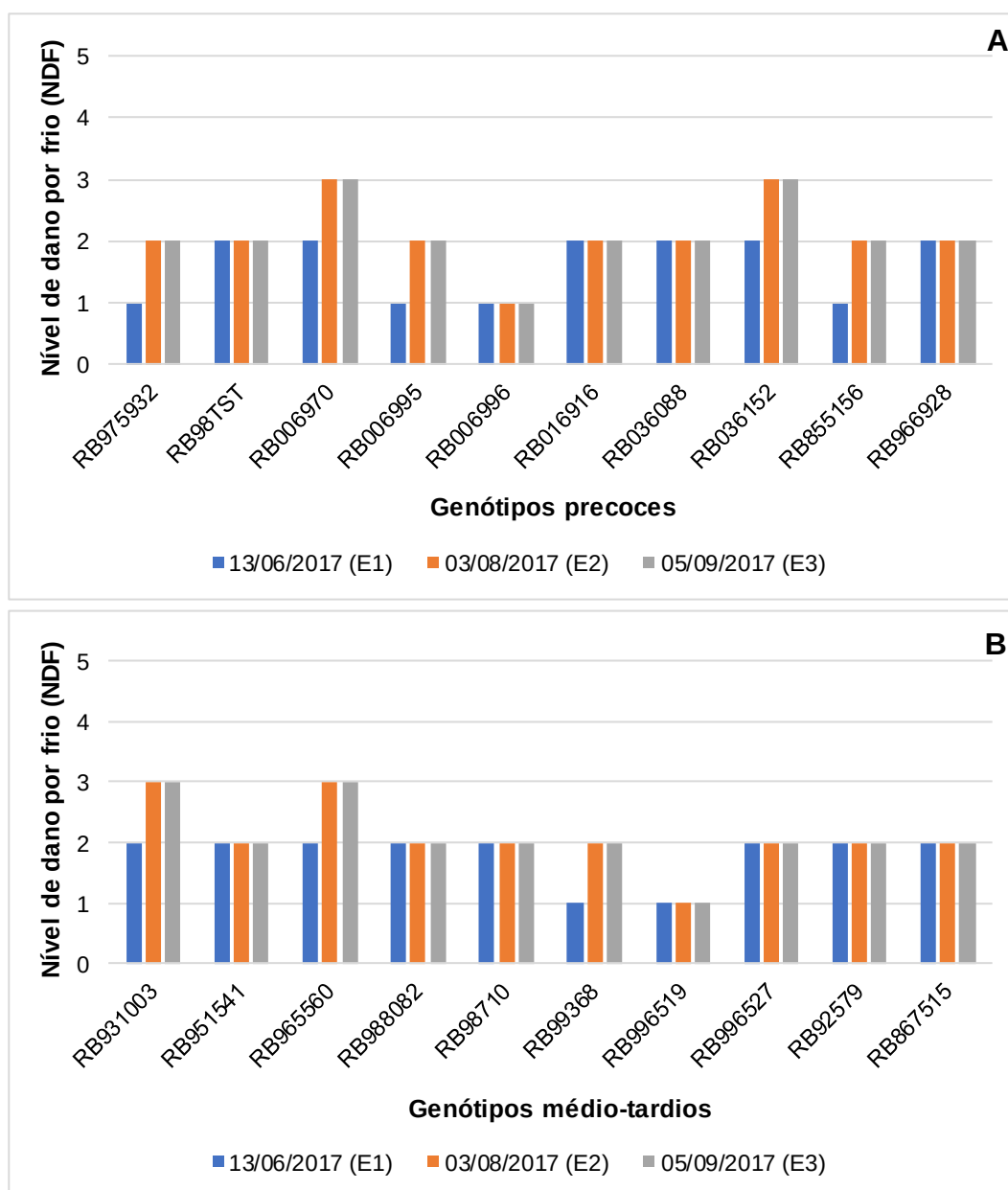


Figura 6. Nível de dano por frio avaliado na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

Entre os médio-tardios observa-se queda gradativa do pH do caldo durante as épocas de avaliação para maioria dos genótipos, com exceção do RB995560 que não diferiu entre as épocas, mantendo o valor próximo a 5,30. Vale ressaltar que assim como na safra anterior, não houve genótipos superiores em relação a variedade testemunha RB867515 em nenhuma das épocas de avaliação.

Tabela 10. Potencial hidrogeniônico (pH) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

pH do caldo										
Genótipo	Ciclo	13/06/2017 (E1)			03/08/2017 (E2)			05/09/2017 (E3)		
										Média
RB006995	P	5,61			5,51			5,40		5,51
RB006996	P	5,58			5,56			5,35		5,49
RB975932	P	5,69			5,41			5,34		5,48
RB036088	P	5,63			5,48			5,33		5,48
RB036152	P	5,54			5,52			5,33		5,46
RB016916	P	5,57			5,47			5,34		5,46
RB855156*	P	5,60			5,45			5,30		5,45
RB966928	P	5,57			5,40			5,33		5,43
RB006970	P	5,49			5,43			5,35		5,42
RB98TST	P	5,50			5,37			5,39		5,42
Média		5,58		A ¹	5,46		AB	5,34		B
CV (%)		-			-			-		1,44
DMS (5%) para cultivar em cada época										0,15
DMS (5%) para época em cada cultivar										0,21
RB867515*	M-T	5,54	ab	A	5,47	a	AB	5,45	a	B
RB931003	M-T	5,55	ab	A	5,45	a	B	5,41	ab	B
RB98710	M-T	5,57	a	A	5,41	abc	B	5,37	ab	B
RB996527	M-T	5,51	abc	A	5,36	abc	B	5,39	ab	B
RB996519	M-T	5,49	abcd	A	5,42	ab	A	5,30	bc	B
RB951541	M-T	5,50	abc	A	5,39	abc	B	5,31	bc	B
RB92579	M-T	5,44	bcd	A	5,29	cd	B	5,32	bc	B
RB965560	M-T	5,38	d	A	5,30	bcd	A	5,34	abc	A
RB99368	M-T	5,41	cd	A	5,29	cd	B	5,31	bc	B
RB988082	M-T	5,44	bcd	A	5,23	d	B	5,25	c	B
Média		5,48			5,36			5,34		5,40
CV (%)		-			-			-		0,84
DMS (5%) para cultivar em cada época										0,09
DMS (5%) para época em cada cultivar										0,12

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Nesta mesma safra verifica-se que houve aumento gradativo de acidez titulável ao longo das épocas de avaliação para maioria dos genótipos, tanto de ciclo precoce quanto de ciclo médio-tardio, com exceção dos genótipos RB016916 (precoce), RB931003 e RB965560 (médio-tardios) que não diferiram em valores de acidez entre as épocas (Tabela 11). O aumento da acidez titulável pode indicar a elevação da concentração de ácidos orgânicos presentes no caldo, reduzindo a qualidade do produto final daqueles genótipos que apresentam elevados valores de acidez (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004). A elevação dos valores de acidez titulável

durante as avaliações, está em grande parte associada a queda gradativa do potencial hidrogeniônico ao longo da safra (Tabela 10).

Tabela 11. Acidez titulável do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

Acidez titulável do caldo (mL de NaOH 0,1 N)											
Genótipo	Ciclo	13/06/2017 (E1)			03/08/2017 (E2)			05/09/2017 (E3)			Média
RB016916	P	6,1	ab ¹	A	7,1	c	A	7,9	b	A	7,0
RB975932	P	4,8	b	B	7,0	c	B	9,9	ab	A	7,2
RB966928	P	5,2	ab	B	8,1	abc	A	10,0	ab	A	7,8
RB006996	P	4,7	b	B	9,6	abc	A	9,4	ab	A	7,9
RB036088	P	6,6	ab	B	7,7	bc	AB	9,5	ab	A	7,9
RB855156*	P	6,2	ab	B	10,5	ab	A	8,5	b	AB	8,4
RB036152	P	6,2	ab	B	8,8	abc	A	10,3	ab	A	8,4
RB006995	P	5,2	ab	C	7,9	abc	B	12,3	a	A	8,5
RB006970	P	7,5	ab	B	9,5	abc	AB	11,0	ab	A	9,3
RB98TST	P	8,4	a	B	11,1	a	A	8,7	b	AB	9,4
Média		6,1			8,7			9,7			8,2
CV (%)		-			-			-			14,7
DMS (5%) para cultivar em cada época											2,4
DMS (5%) para época em cada cultivar											3,2
RB931003	M-T	6,7	b	A	8,0	c	A	7,7	e	A	7,5
RB951541	M-T	6,6	b	B	8,5	bc	A	8,8	cde	A	8,0
RB965560	M-T	7,9	ab	A	7,9	c	A	8,7	de	A	8,2
RB98710	M-T	6,7	b	B	9,1	bc	A	10,4	bcd	A	8,7
RB867515*	M-T	6,8	b	B	9,6	abc	A	11,0	bcd	A	9,1
RB92579	M-T	6,7	b	C	9,4	bc	B	11,4	b	A	9,2
RB996527	M-T	7,2	b	B	9,9	abc	A	11,2	bcd	A	9,4
RB996519	M-T	9,7	a	A	7,7	c	B	11,2	bc	A	9,5
RB988082	M-T	8,8	ab	B	12,0	a	A	9,9	bcde	B	10,2
RB99368	M-T	8,0	ab	C	10,7	ab	B	13,9	a	A	10,9
Média		7,5			9,3			10,4			9,1
CV (%)		-			-			-			10,0
DMS (5%) para cultivar em cada época											1,8
DMS (5%) para época em cada cultivar											2,4

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Os genótipos precoces RB975932 e RB016916 apresentaram valores de acidez titulável inferiores à testemunha RB855156, o que ocorreu apenas na segunda época de avaliação. Os menores valores de acidez observados ao final das avaliações neste grupo de maturação foram do RB016916, RB98TST e RB855156, com valores que variaram entre 7,9 e 8,7 mL. Já entre os genótipos médio-tardios, RB99368 e RB931003 diferiram da testemunha RB867515 na última época de avaliação (E3), com destaque para o RB931003 que apresentou o menor valor de acidez titulável

entre todos os genótipos deste grupo de maturação, indicando manutenção da qualidade do caldo mesmo apresentando nota 3 para NDF (Figura 6), o que pode ser uma resposta do poder de tamponamento deste genótipo.

Para a variável SST do caldo observa-se incremento de açúcar ao longo das avaliações nesta safra, tanto para os genótipos precoces quanto para os médio-tardios (Tabela 12).

Tabela 12. Sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em diferentes épocas na safra 2016/2017, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

SST do caldo (°Brix)											
Genótipo	Ciclo	13/06/2017 (E1)			03/08/2017 (E2)			05/09/2017 (E3)			Média
RB016916	P	18,2			19,7			19,8			19,2 a ¹
RB966928	P	17,6			19,8			20,2			19,2 a
RB855156*	P	17,4			19,7			20,4			19,2 a
RB036088	P	18,0			19,5			19,9			19,1 a
RB006970	P	16,4			19,1			19,9			18,5 ab
RB006995	P	16,8			18,4			19,4			18,2 ab
RB036152	P	15,6			17,9			19,3			17,6 ab
RB006996	P	15,3			18,1			19,3			17,5 ab
RB975932	P	15,6			17,7			19,1			17,5 ab
RB98TST	P	14,8			16,3			19,2			16,8 b
Média		16,6			18,6			19,7			18,3
CV (%)		-			-			-			5,0
DMS (5%) para cultivar em cada época											1,8
DMS (5%) para época em cada cultivar											2,5
RB931003	M-T	16,2	ab	B	18,9	a	A	19,1	a	A	18,1
RB988082	M-T	17,1	a	A	18,1	ab	A	18,3	a	A	17,8
RB98710	M-T	16,0	ab	B	18,3	a	A	18,4	a	A	17,6
RB951541	M-T	15,2	abc	B	18,6	a	A	18,4	a	A	17,4
RB996519	M-T	14,8	bcd	B	17,4	abc	A	18,3	a	A	16,8
RB92579	M-T	14,5	bcd	B	17,6	abc	A	17,9	a	A	16,7
RB867515*	M-T	14,5	bcd	B	17,1	abc	A	18,3	a	A	16,6
RB996527	M-T	13,4	cd	C	16,1	bc	B	17,6	a	A	15,7
RB99368	M-T	13,1	d	C	15,8	c	B	18,2	a	A	15,7
RB965560	M-T	13,4	cd	C	15,6	c	B	17,7	a	A	15,6
Média		14,8			17,3			18,2			16,8
CV (%)		-			-			-			4,5
DMS (5%) para cultivar em cada época											1,5
DMS (5%) para época em cada cultivar											2,0

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Mesmo não havendo genótipos superiores a testemunha RB855156, destacam-se o RB016916 e o RB036088 que apresentaram valores de SST acima de 18,0 °Brix em todas as épocas de avaliação, o que evidencia a elevada precocidade

destes genótipos. Este nível de precocidade indica a possibilidade de colheita destes materiais no início da safra, a partir do mês de junho.

Em relação aos genótipos médio-tardios, o RB988082 foi superior a testemunha RB867515 na primeira época de avaliação, com SST de 17,1 °Brix, enquanto que nas demais épocas não houve genótipos superiores a testemunha. Neste grupo de maturação, destacam-se os genótipos RB931003, RB988082, RB98710 e RB951541 com excelente acúmulo de açúcar a partir da segunda época de avaliação, com valores acima de 18,0 °Brix, com potencial de colheita em meio de safra, considerando-se o parâmetro SST do caldo.

De modo geral, a ocorrência de dano por frio nos níveis 2 e 3, não prejudicam o processo de maturação, ou seja, o acúmulo de açúcar ao longo do ciclo, o que pode ser observado por meio do comportamento de alguns genótipos, representados na Figura 6, como por exemplo o RB006970, RB036152 (precoces) e RB931003 (médio-tardio) que apresentaram nota 3 (nível de dano intermediário) e SST acima de 19,0 °Brix no momento da colheita (Tabela 12).

Para TCH verificam-se produtividades superiores na safra 2016/17 (cana 1ª soca) em relação à safra anterior (cana-planta), para maioria dos genótipos em ambos os grupos de maturação, com média superior a 100 t ha⁻¹ (Tabela 13). Do mesmo modo, Verissimo (2012) também verificou este comportamento em genótipos de cana-de-açúcar neste mesmo ambiente. De maneira geral, canaviais onde o plantio é realizado através do sistema convencional (“cana corrida”), as maiores produtividades são observadas em cana planta com queda gradativa ao longo das soqueiras. No entanto, no presente estudo, o plantio foi realizado através de mudas oriundas de mini-toletes, acarretando em um estabelecimento mais lento em função do menor enraizamento inicial das mudas, e conseqüentemente menor absorção de água e nutrientes, influenciando assim na produtividade em ciclo de cana planta.

Entre os genótipos precoces, não houve superioridade em relação à testemunha RB855156 para TCH, nos dois anos agrícolas avaliados. No entanto, destacam-se o RB016916 com TCH acima de 90 t ha⁻¹ nas duas safras e o RB036088 que não diferiu entre os anos agrícolas em produtividade, mostrando-se estável na produção de colmos, com TCH acima de 70 t ha⁻¹.

Tabela 13. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS.

Genótipo	Ciclo	TCH (t ha ⁻¹)							TSSTH (t ha ⁻¹)							Ef Es (g MJ ⁻¹)						
		Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média
RB016916	P	92,5	a ¹	B	127,6	ab	A	110,1	19,4	a	B	27,6	ab	A	23,5	2,19	a	A	2,40	ab	A	2,30
RB98TST	P	69,5	a	B	145,6	a	A	107,6	14,3	a	B	30,2	a	A	22,3	1,65	a	B	2,74	a	A	2,19
RB855156*	P	82,4	a	B	119,8	ab	A	101,1	16,5	a	B	24,7	abc	A	20,6	1,95	a	A	2,26	ab	A	2,10
RB966928	P	86,8	a	B	109,8	b	A	98,3	17,5	a	B	22,9	bc	A	20,2	2,06	a	A	2,07	ab	A	2,06
RB036152	P	76,3	a	B	117,9	ab	A	97,1	14,2	a	B	24,2	abc	A	19,2	1,80	a	A	2,22	ab	A	2,01
RB006970	P	76,2	a	B	112,7	ab	A	94,5	15,0	a	B	23,5	abc	A	19,3	1,80	a	A	2,12	ab	A	1,96
RB006996	P	77,4	a	B	111,3	b	A	94,3	15,1	a	B	22,7	bc	A	18,9	1,83	a	A	2,10	ab	A	1,96
RB006995	P	72,6	a	B	104,9	b	A	88,8	13,8	a	B	21,2	bc	A	17,5	1,72	a	A	1,97	b	A	1,85
RB036088	P	75,4	a	A	94,6	b	A	85,0	15,9	a	A	19,4	c	A	17,7	1,78	a	A	1,78	b	A	1,78
RB975932	P	70,0	a	B	97,9	b	A	83,9	13,7	a	B	19,7	c	A	16,7	1,65	a	A	1,84	b	A	1,75
Média		77,9			114,2			96,1	15,6			23,6			19,6	1,84			2,15			2,0
CV (%)		-			-			13,0	-			-			13,6	-			-			12,8
DMS (5%) para cultivar em cada época								20,6							4,4							0,4
DMS (5%) para época em cada cultivar								34,2							7,3							0,7
RB92579	M-T	85,7	a	B	160,8	a	A	123,3	17,2	a	B	31,8	ab	A	24,5	1,73	a	B	3,18	a	A	2,46
RB931003	M-T	87,9	a	B	153,5	a	A	120,7	19,0	a	B	32,8	a	A	25,9	1,78	a	B	3,04	ab	A	2,41
RB996519	M-T	83,0	a	B	128,2	ab	A	105,6	17,1	a	B	25,9	abc	A	21,5	1,67	a	B	2,54	abc	A	2,11
RB996527	M-T	85,9	a	B	121,2	abc	A	103,5	17,6	a	B	23,5	bcd	A	20,6	1,73	a	B	2,40	abcd	A	2,07
RB951541	M-T	71,0	a	B	128,3	ab	A	99,7	13,9	a	B	26,6	abc	A	20,2	1,43	a	B	2,54	abc	A	1,99
RB988082	M-T	59,6	a	B	113,1	bcd	A	86,4	12,7	a	B	23,2	bcd	A	17,9	1,20	a	B	2,24	bcde	A	1,72
RB867515*	M-T	73,5	a	A	97,4	bcd	A	85,4	15,5	a	A	19,5	cd	A	17,5	1,48	a	A	1,93	cde	A	1,71
RB98710	M-T	73,5	a	A	92,7	bcd	A	83,1	14,7	a	A	19,0	cd	A	16,8	1,48	a	A	1,84	cde	A	1,66
RB965560	M-T	76,9	a	A	83,2	cd	A	80,1	15,9	a	A	16,6	d	A	16,2	1,55	a	A	1,65	de	A	1,60
RB99368	M-T	60,4	a	A	79,4	d	A	69,9	12,4	a	A	15,7	d	A	14,1	1,22	a	A	1,57	e	A	1,40
Média		75,7			115,8			95,8	15,6			23,5			19,5	1,53			2,29			1,91
CV (%)		-			-			15,4	-			-			16,8	-			-			15,4
DMS (5%) para cultivar em cada época								24,3							5,4							0,5
DMS (5%) para época em cada cultivar								40,3							9,0							0,8

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação. ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Enquanto que, entre médio-tardios os genótipos RB92579 e RB931003 foram superiores a testemunha RB867515 na safra 2016/2017, com produtividade acima de 150 t ha⁻¹. Nesta mesma safra, observa-se que todos os genótipos de maturação médio-tardia apresentaram produtividades acima da média nacional, que foi de 72,6 t ha⁻¹ neste ano agrícola (CONAB, 2017), evidenciando o elevado potencial produtivo dos genótipos estudados.

Para produtividade de açúcar (TSSTH), observa-se que houve ganho de rendimento na safra 2016/17 se comparada com a safra anterior (Tabela 13), para maioria dos genótipos de ciclo precoce e médio-tardio, principalmente em virtude dos maiores valores de TCH verificados nesta safra, visto que a produtividade de açúcar é altamente dependente desta variável. Assim como para TCH, não houve genótipos superiores a testemunha em produtividade de açúcar no grupo de maturação precoce, mesmo assim, destacam-se novamente o RB016916 com produtividade acima de 19,0 t ha⁻¹ nas duas safras e o RB036088 que apresentou estabilidade na produção de açúcar, não diferindo entre as safras, assim como verificado para TCH. Entre os médio-tardios, o RB931003 e o RB92579 foram superiores a testemunha em TSSTH na safra 2016/17, o que também foi observado para TCH.

Em relação a eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es), observa-se que não houve genótipos precoces superiores a testemunha RB855156 em Ef Es nos dois anos agrícolas estudados, assim como verificado para as variáveis TCH e TSSTH.

Entre os genótipos médio-tardios o RB92579 e o RB931003 superaram a testemunha do seu ciclo de maturação em Ef Es na safra 2016/2017, o que também foi verificado para TCH e TSSTH, confirmando o elevado potencial destes genótipos em produzir colmos, açúcar e converter energia solar em produção (Tabela 13). Ressalta-se ainda que entre os médios-tardios o RB98710, RB965560, RB99368 e a testemunha RB867515 não diferiram entre as safras em TCH, TSSTH e Ef Es, mostrando-se estáveis na produção de colmos, açúcar e eficiência de conversão de energia solar em produção.

5.4 Conclusões

Há variabilidade para tolerância ao frio, qualidade do caldo, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção nos genótipos de cana-de-açúcar.

Os genótipos RB975932, RB006996, RB016916, RB966928 de maturação precoce e RB951541, RB98710 e RB996519 de maturação médio-tardia apresentam maior tolerância as temperaturas baixas registradas neste ambiente.

A melhor qualidade de caldo com base nos parâmetros pH do caldo, acidez titulável e sólidos solúveis totais, é apresentada pelos genótipos precoces RB016916, RB006996, RB036088 e os genótipos médio-tardios RB931003 e RB991541.

Os genótipos RB016916, RB98TST de ciclo precoce, RB92579 e RB931003 de ciclo médio-tardio, apresentam as maiores produtividades e eficiência de conversão de energia solar em produção.

6. CAPÍTULO 2. Tolerância ao frio, qualidade do caldo e produtividade de genótipos de cana-de-açúcar na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul

6.1 Introdução

A cana-de-açúcar é uma planta de origem tropical amplamente cultivada no mundo em uma diversidade de ambientes, os quais se estendem desde as latitudes 35 °N até 30 °S, além de ser cultivada em altitudes que variam desde o nível do mar até 1000 m (MAGALHÃES, 1987; DOORENBOS; KASSAM, 1994). Essa ampla faixa de cultivo abrange áreas predominantemente tropicais, entretanto, em áreas subtropicais e temperadas também são cultivadas, como é o caso do estado do Rio Grande do Sul (SILVA et al., 2016).

Em boa parte dessa extensa área geográfica utilizada para o cultivo da cana, temperaturas mínimas capazes de causar danos podem ocorrer durante todo ciclo da cultura, no entanto, na região Sul do Brasil, que abrange os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, as baixas temperaturas restringem-se principalmente aos meses de inverno, as quais coincidem com a fase de maturação e colheita. Ressalta-se que temperaturas abaixo de 17,0 °C são benéficas para o acúmulo de sacarose (MALUF et al., 2008), desde que não ocorram temperaturas favoráveis a formação de geadas, as quais podem ser letais a cultura, dependendo da intensidade e tempo de duração, visto que, o meristema apical pode sofrer danos letais com temperaturas em torno de -1,0 a -3,3 °C, as gemas laterais com temperaturas em torno de -6,0 °C e as folhas jovens podem ser danificadas com temperaturas de -2,2 a -5,0 °C (BACCHI; SOUZA, 1978).

O risco de ocorrência de temperaturas favoráveis a formação de geadas é bastante elevada no Rio Grande do Sul, principalmente nos meses de inverno (SOUZA et al., 2011; BRIXNER et al., 2014), podendo gerar prejuízos como perda de sacarose e diminuição da produtividade (EGGLESTON; LEGENDRE, 2003).

Os estudos sobre estresses abióticos na cultura da cana-de-açúcar estão voltados principalmente para a tolerância ao déficit hídrico e a tolerância ao frio, sendo que a seca na região Central e Nordeste 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 à tolerância ao frio em cana-de-açúcar. Nas décadas de 70 e 80 foram realizadas avaliações por Brinholi (1972), Cesnik et al. (1978) e Bastos et al. (1983) em variedades de cana-de-açúcar, porém estas não são mais cultivadas atualmente, sendo assim de grande importância avaliações de tolerância ao frio em novas variedades, o que reduzirá o risco de perdas pela ocorrência de geadas nos canaviais, aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos processados na indústria.

Neste contexto, o objetivo do trabalho consiste em avaliar o potencial produtivo, qualidade e a tolerância a baixas temperaturas em genótipos de cana-de-açúcar em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul.

6.2 Material e métodos

Os ensaios foram conduzidos em três ambientes do estado do Rio Grande do Sul, sendo: Salto do Jacuí (29°00'30"S, 53°13'48"W – altitude 361 m), Santa Rosa (27°50'31"S, 54°26'50"W – altitude 342 m) e São Borja (28°41'48"S, 55°57'58"W – altitude 97 m), por dois anos agrícolas (2015/16 e 2016/17), com a avaliação de 10 genótipos de cana-de-açúcar (Tabela 14), desenvolvidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e implantados pelo Setor de Agroenergia da Embrapa Clima Temperado.

Tabela 14. Genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio e suas respectivas testemunhas, avaliados nos ambientes de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

TRAT.	GENÓTIPOS	CICLO
1	RB975932	P
2	RB006996	P
3	RB016916	P
4	RB036152	P
5	RB855156*	P
6	RB965560	M-T
7	RB996519	M-T
8	RB996527	M-T
9	RB92579	M-T
10	RB867515*	M-T

TRAT – Tratamento; *Variedade testemunha de ciclo precoce (P) e médio-tardio (M-T).

As variedades utilizadas como testemunhas foram escolhidas com base na recomendação técnica de variedades de cana-de-açúcar para o cultivo no RS, que apresenta especificações sobre as características agronômicas e o manejo de cada variedade (SILVA et al., 2012).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, compostas por parcelas de seis linhas de 10 metros de comprimento, espaçadas 1,40 m entrelinhas, com densidade de plantio de 18 gemas por metro linear. A implantação, condução e avaliação dos ensaios foram realizadas conforme a metodologia proposta por Zambon; Daros (2005).

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens, com posterior formação dos sulcos, com profundidade de aproximadamente 30 cm.

O plantio foi realizado na segunda quinzena de agosto de 2012, adotando-se o sistema convencional. No plantio, os colmos foram colocados inteiros e com palha

dentro do sulco, sempre na disposição “pé com ponta”. Em seguida os colmos foram cortados em toletes de três gemas cada e os sulcos cobertos com aproximadamente 10 cm de solo.

As práticas de correção da acidez (calagem), adubação de base, cobertura e manutenção foram realizadas conforme os resultados e interpretação das análises químicas do solo de cada local. O controle das plantas concorrentes foi realizado conforme a necessidade, utilizando-se cultivador mecânico e herbicidas recomendados para a cultura.

A colheita dos experimentos foi realizada nos dias 19, 20 e 21 de julho na safra 2015/2016 (cana 3ª soca) e nos dias 10, 11 e 12 de julho na safra 2016/2017 (cana 4ª soca), em Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja, respectivamente. Ressalta-se ainda que as colheitas dos anos anteriores (cana-planta, primeira e segunda soca) foram realizadas a partir do corte manual dos colmos, sem uso da queima.

Foram realizadas avaliações de qualidade de caldo, nível de dano por frio nos colmos, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção.

Os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade do caldo foram: Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT) e teor de sólidos solúveis totais do caldo (SST, °Brix), os quais foram avaliados em ciclo de terceira e quarta soca em Salto do Jacuí e São Borja, e apenas em terceira soca em Santa Rosa.

As amostras de caldo foram obtidas a partir da coleta de três colmos ao acaso por parcela, no momento da colheita na safra 2015/16 e em duas épocas na safra 2016/17 (antes e depois da ocorrência de geadas). O preparo das amostras foi realizado através da despalha, lavagem e secagem superficial dos colmos. Após o preparo foi realizada a extração do caldo em moenda da marca Vencedora Maqtron®, modelo B-721, a partir da moagem dos colmos da base até o meristema apical, descartando-se o palmito, objetivando extrair mais de 80% do caldo contido no colmo. O caldo obtido das amostras foi homogeneizado, preparando-se uma subamostra de 50 mL, utilizada para realização das análises. A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) do caldo foi realizada em pHmêtro portátil marca HANNA® modelo HI 98128, com compensação automática de temperatura entre -5 e 50 °C e precisão de $\pm 0,05$ pH.

A determinação da acidez titulável (AT) do caldo foi realizada a partir da titulação de solução base NaOH 0,1 N, sendo que o ponto de viragem é determinado pela medida do pH, com valor próximo de $8,3 \pm 0,02$, expressando os valores em mL

de solução NaOH 0,1 N por 50 mL de caldo. As análises de pH e acidez do caldo foram realizadas conforme metodologia adaptada de Eggleston; Legendre; Tew, (2004).

A avaliação do teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) do caldo foi realizada a partir de uma subamostra homogeneizada de aproximadamente 0,5 mL, através da leitura em refratômetro digital marca HANNA® modelo HI 96801, com compensação automática de temperatura entre 10 e 40 °C e precisão de $\pm 0,2\%$ Brix.

O nível de dano por frio nos colmos foi realizado nas mesmas épocas de avaliação de qualidade do caldo, de maneira visual, atribuindo-se notas de 1 a 5 para os danos conforme a escala proposta para esta avaliação, visto que, caso fossem identificadas notas diferentes para o mesmo genótipo, tomou-se como referência a nota atribuída que apresentasse o maior nível de dano na avaliação (Figura 7). Foram amostrados e cortados longitudinalmente três colmos por parcela (após o corte, a visualização e atribuição do nível de dano foi instantânea, para evitar erros de avaliação devido ao processo natural de oxidação dos tecidos), adotando-se 1 para genótipo altamente tolerante, onde não há visualização de danos, sem presença de oxidação dos tecidos vegetais; 2 para genótipo tolerante, onde há visualização de poucos danos, ocorrendo oxidação ao redor do ponto de crescimento (meristema apical) e dos primeiros entre nós abaixo do mesmo, mas com ausência de danos nos primórdios foliares; 3 para genótipo intermediário, onde há visualização de danos, ocorrendo oxidação ao redor do ponto de crescimento, dos primeiros entre nós abaixo do mesmo e dano inicial nos primórdios foliares; 4 para genótipo sensível, onde há visualização de danos severos, ocorrendo oxidação acentuada ao redor do ponto de crescimento e de grande parte dos entre nós, além de dano intenso dos primórdios foliares; e 5 para genótipo altamente sensível, onde há visualização de danos mais severos, ocorrendo morte do meristema apical e primórdios foliares, com alta oxidação dos entre nós, apresentando podridificação e odor forte, além de possíveis brotações das gemas laterais.

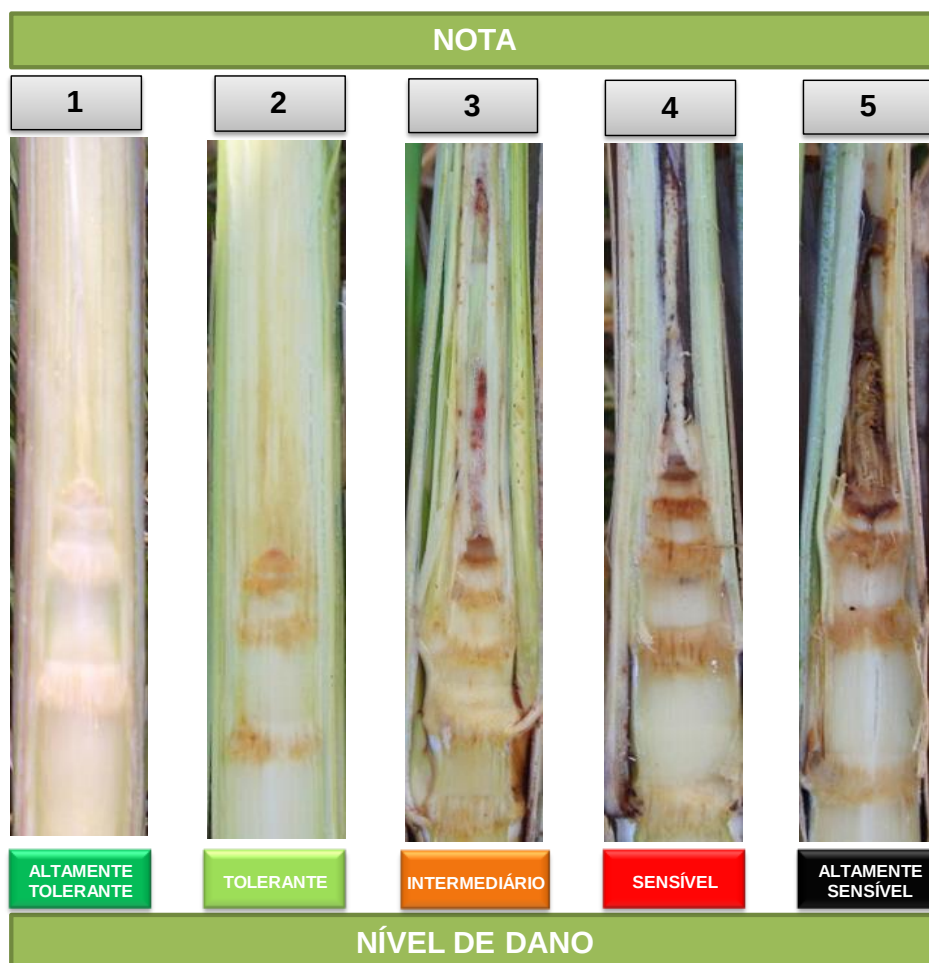


Figura 7. Escala de avaliação de nível de dano por frio para cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Fonte: Antunes (2015).

A produtividade de colmos, expresso em toneladas de colmo por hectare (TCH), foi estimado através da equação:

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

onde: P10C, peso de dez colmos; NCM, número de colmos por metro linear; E, espaçamento entre linhas.

A produtividade de açúcar de açúcar por hectare (TSSTH) foi estimada através da equação:

$$TSSTH = (TCH \times SST \text{ médio}) \div 100 \quad (2)$$

em que SST (°Brix) é a leitura média de sólidos solúveis totais obtidos em três diferentes colmos, com a amostragem no terceiro entrenó abaixo do ponto de quebra do palmito e no terceiro entrenó acima do solo, com a utilização de um calador e leitura em refratômetro digital portátil, marca Atago®, modelo Pal-1, com compensação automática da temperatura.

A eficiência dos genótipos em converter energia solar em produção ($E_f E_s$) foi calculada através da equação adaptada de Caron et al. (2012):

$$Ef Es = (TCH \div RAD) \times 100 \quad (3)$$

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

Os dados meteorológicos utilizados no presente trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), 8º Distrito de Meteorologia, com medições realizadas por estações automáticas localizadas em cada município.

Os dados de qualidade, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do *software* Genes (CRUZ, 2013). Os resultados de nível de dano por frio (NDF) foram apresentados em análise descritiva devido à origem categórica.

6.3 Resultados e discussão

Na safra 2015/2016 verifica-se que o ambiente Salto do Jacuí apresentou o maior número de dias favoráveis a formação de geadas no ano de 2016, comparado aos demais ambientes de estudo (Santa Rosa e São Borja), considerando-se temperaturas mínimas ≤ 4 °C, as quais são favoráveis a formação de geadas (WREGE et al., 2005; CARAMORI et al., 2008; ALMEIDA et al., 2009; BRIXNER et al., 2014). Além disso, em Salto do Jacuí também foi observado o maior número de dias (5) com temperaturas negativas (Tabela 15).

Tabela 15. Temperaturas mínimas do ar favoráveis a formação de geada registradas durante o ano de 2016, nos municípios de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja.

Data	Salto do Jacuí-RS	Data	Santa Rosa-RS	Data	São Borja-RS
	T mín. °C		T mín. °C		T mín. °C
01/05/2016	2,6	23/05/2016	3,6	11/06/2016	1,7
18/05/2016	1,8	02/06/2016	3,9	12/06/2016	0,5
23/05/2016	3,9	07/06/2016	1,3	17/07/2016	2,4
04/06/2016	3,2	08/06/2016	0,6	18/07/2016	1,4
06/06/2016	3,3	09/06/2016	-0,9	20/07/2016	2,9
07/06/2016	-0,9	10/06/2016	-0,3	21/07/2016	1,3
08/06/2016	2,9	11/06/2016	1,8	-	-
09/06/2016	-0,3	12/06/2016	1,8	-	-
10/06/2016	0,4	13/06/2016	-0,8	-	-
11/06/2016	-3,0	14/06/2016	3,8	-	-
12/06/2016	-1,6	18/06/2016	3,3	-	-
13/06/2016	0,8	19/06/2016	3,3	-	-
18/06/2016	3,4	07/07/2016	2,8	-	-
19/06/2016	0,9	17/07/2016	0,1	-	-
20/06/2016	3,2	18/07/2016	-0,2	-	-
21/06/2016	3,2	19/07/2016	3,7	-	-
17/07/2016	0,4	20/07/2016	3,8	-	-
18/07/2016	-1,2	21/07/2016	2,0	-	-
19/07/2016	2,8	22/07/2016	1,8	-	-
20/07/2016	1,0	-	-	-	-
21/07/2016	1,0	-	-	-	-
22/07/2016	3,1	-	-	-	-

Na avaliação de tolerância ao frio realizada na safra 2015/2016, observa-se que apenas o RB006996 (precoce) e o RB92579 (médio-tardio) não apresentaram morte do meristema apical, recebendo nota 4 (Figura 8), quando expostos as temperaturas mínimas do ar registradas em Salto do Jacuí, que atingiram -3,0 °C no dia 11 de junho de 2016 (Tabela 15), visto que tal nível de estresse foi letal para os demais genótipos estudados.

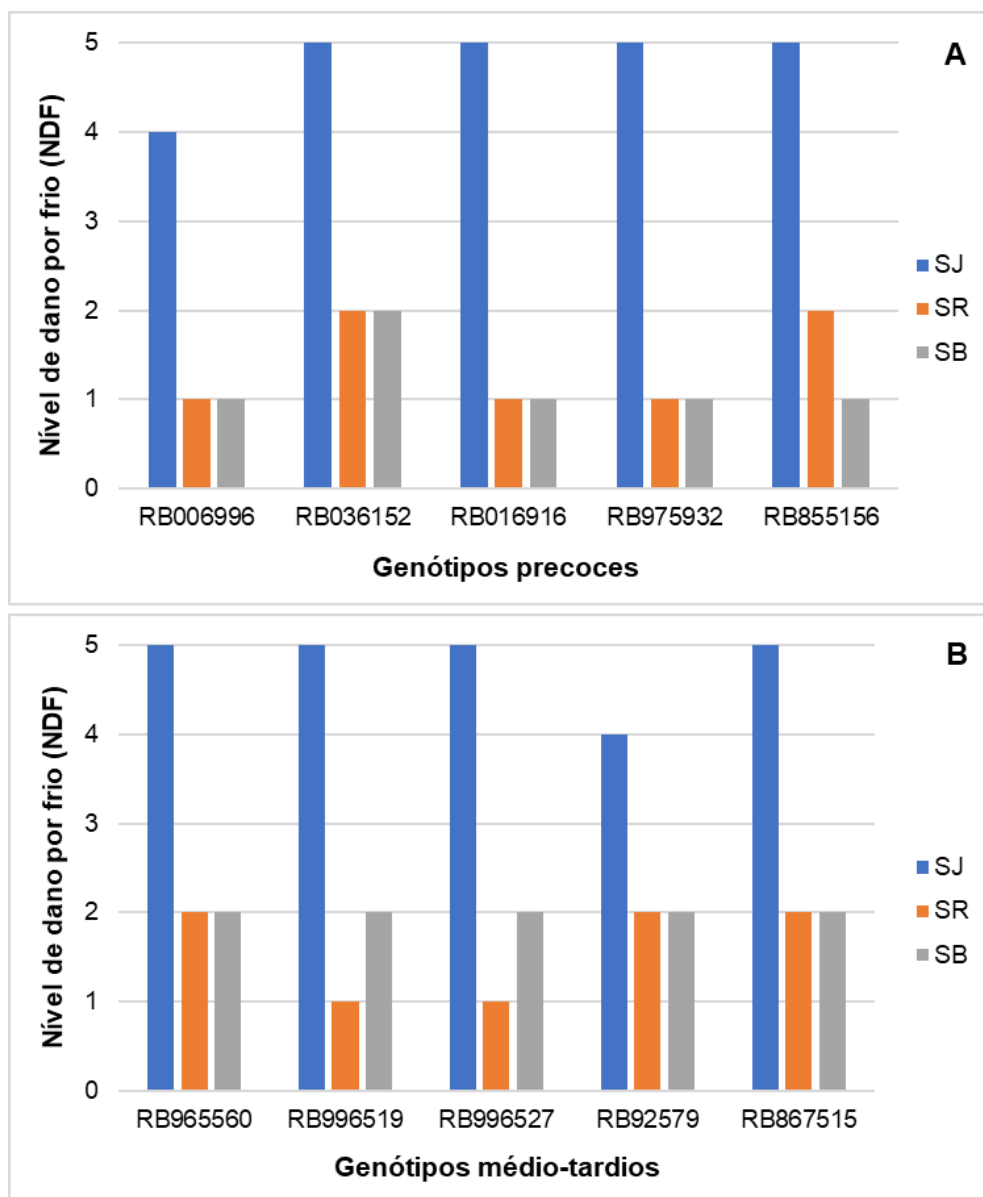


Figura 8. Nível de dano por frio em genótipos de cana-de-açúcar, cultivados nos municípios de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja durante a safra 2015/16.

Nos demais ambientes (Santa Rosa e São Borja), onde as temperaturas mínimas do ar neste período não atingiram $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, os genótipos dos dois grupos de maturação apresentaram notas 1 e 2, respectivamente, indicando que essas temperaturas não foram capazes de causar danos severos aos genótipos. Infere-se que a queda gradativa de temperatura a partir do mês de abril neste local, pode ter contribuído para o processo de aclimação dos genótipos, assim as baixas temperaturas registradas durante os meses de junho e julho de 2016 nestes ambientes não foram prejudiciais à cultura. A tolerância das plantas ao frio pode aumentar mediante sua exposição a baixas temperaturas (LARCHER, 2000; BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017), acima do ponto de congelamento,

proporcionando, por meio de ajuste osmótico celular, uma condição fisiológica mais favorável para suportar o frio.

Na avaliação de pH do caldo nesta safra é possível observar na Tabela 16 que não houve diferença nos valores apresentados pelos genótipos precoces entre os ambientes Salto do Jacuí (SJ), Santa Rosa (SR) e São Borja (SB), com exceção dos genótipos RB036152 e RB855156 (testemunha) que apresentaram valores de pH inferiores em SR. Além disso, apenas em SR houve genótipos com pH superior a testemunha, com valores de 5,66 e 5,64 para o RB016916 e RB006996, respectivamente.

Entre os médio-tardios, apenas o genótipo RB996519 não diferiu em pH do caldo entre os ambientes, com valores que variaram entre 5,60 e 5,57. Para os demais genótipos deste grupo de maturação o pH do caldo foi inferior em Santa Rosa, com valores que variaram de 5,60 a 5,55. Ainda nesta mesma safra, verifica-se que os genótipos médio-tardios não apresentaram valores de pH superiores a testemunha RB867515 nos três ambientes avaliados.

Os valores de pH do caldo observados nesta safra para os genótipos avaliados nos três ambientes são considerados satisfatórios, corroborando com estudos realizados por Prati; Camargo (2008), principalmente em Salto do Jacuí onde as temperaturas foram muito baixas, com mínima de -3,0 °C, sendo que a maioria dos genótipos apresentaram morte do meristema apical nas avaliações visuais realizadas a campo, e a variação nos valores de pH do caldo foi de 5,67 a 5,59. Este comportamento pode ter ocorrido devido a capacidade de tamponamento dos genótipos, o qual é controlado em parte pela grande concentração de ácido aconítico presente no caldo, que se encontra de duas a três vezes mais concentrado do que todos os outros ácidos combinados (ALBUQUERQUE, 2011), podendo variar também de acordo com a variedade, maturação e condições ambientais.

Os valores de acidez titulável do caldo apresentaram variação entre os ambientes avaliados, conforme pode ser observado na Tabela 16, sendo a acidez superior para maioria dos genótipos precoces e médio-tardios em Salto do Jacuí, como consequência dos danos verificados a campo por meio da avaliação do nível de dano por frio (Figura 8). Entre os genótipos precoces, o RB006996 e o RB975932 apresentaram os menores valores de acidez titulável do caldo em Salto do Jacuí, diferindo da testemunha RB855156.

Tabela 16. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável, e sólidos solúveis totais (SST) do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados nos ambientes de Salto do Jacuí, Santa Rosa e São Borja no estado do Rio Grande do Sul, safra 2015/2016.

pH do caldo										Acidez titulável do caldo (mL de NaOH 0,1 N)										SST do caldo (°Brix)											
Genótipo	Ciclo	SJ		SR		SB		Média		SJ		SR		SB		Média		SJ		SR		SB		Média							
RB006996	P	5,67	a ¹	A	5,64	a	A	5,67	a	A	5,66	5,5	b	A	4,7	b	A	6,6	b	A	5,6	18,7	a	A	19,2	ab	A	19,1	a	A	19,0
RB016916	P	5,61	a	A	5,66	a	A	5,62	ab	A	5,63	8,2	ab	A	4,7	b	B	5,6	b	B	6,1	19,3	a	A	20,6	a	A	17,3	bc	B	19,0
RB855156*	P	5,65	a	A	5,52	bc	B	5,68	a	A	5,62	10,0	a	A	6,7	ab	B	3,9	b	C	6,8	18,7	a	A	18,9	abc	A	18,4	ab	A	18,7
RB975932	P	5,59	a	A	5,57	ab	A	5,57	b	A	5,58	7,2	b	B	6,0	b	B	12,2	a	A	8,4	14,5	b	C	18,9	bc	A	16,3	c	B	16,5
RB036152	P	5,64	a	A	5,45	c	B	5,62	ab	A	5,57	10,7	a	A	8,9	a	A	5,7	b	B	8,4	15,4	b	B	17,5	c	A	15,7	c	B	16,2
Média		5,63		5,57		5,63		5,61		8,3		6,2		6,8		7,1		17,3		19,0		17,3		17,9							
CV (%)								0,70								16,7								3,9							
DMS (5%) para cultivar em cada época																2,4								1,4							
DMS (5%) para época em cada cultivar																2,8								1,7							
RB996527	M-T	5,64	a	AB	5,58	a	B	5,68	a	A	5,63	9,2	b	A	7,5	a	B	5,0	a	C	7,2	15,8	a	B	19,0	ab	A	18,2	a	A	17,7
RB867515*	M-T	5,67	a	A	5,60	a	B	5,62	ab	AB	5,63	9,1	b	A	5,1	b	B	6,1	a	B	6,8	14,6	a	C	18,4	ab	A	16,1	b	B	16,4
RB965560	M-T	5,60	ab	B	5,58	a	B	5,67	a	A	5,62	10,5	a	A	6,9	a	B	5,0	a	C	7,5	13,2	b	C	18,2	ab	A	16,9	ab	B	16,1
RB996519	M-T	5,57	bc	A	5,60	a	A	5,58	b	A	5,58	9,0	b	A	4,5	b	C	5,8	a	B	6,4	14,8	a	C	19,5	a	A	17,4	ab	B	17,2
RB92579	M-T	5,53	c	B	5,55	a	B	5,62	ab	A	5,56	6,1	c	B	7,2	a	A	5,1	a	B	6,1	15,4	a	B	17,6	b	A	17,6	a	A	16,8
Média		5,60		5,58		5,63		5,60		8,8		6,2		5,4		6,8		14,7		18,5		17,2		16,8							
CV (%)								0,51								7,4								3,5							
DMS (5%) para cultivar em cada época																1,0								1,2							
DMS (5%) para época em cada cultivar																1,2								1,4							

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Em Santa Rosa os genótipos não diferiram da testemunha em acidez titulável, enquanto que, em São Borja apenas o RB975932 superou a testemunha. Além disso, o genótipo RB006996 foi o único que não diferiu entre os ambientes, apresentando o menor valor de acidez titulável do caldo em Salto do Jacuí, ambiente onde foram registradas as temperaturas mínimas mais severas desta safra com danos significativos causados pelo frio, ocorrendo morte do meristema apical na maioria dos genótipos deste grupo de maturação, com exceção do genótipo RB006996.

Em relação aos médio-tardios, observa-se na Tabela 16 que os genótipos RB965560 e RB92579 apresentaram o maior e o menor valor de acidez, respectivamente, em Salto do Jacuí, diferindo da testemunha RB867515, sendo que o RB92579 foi o único genótipo deste grupo de maturação que não apresentou morte do meristema apical durante as avaliações visuais a campo neste ambiente.

Em Santa Rosa, o genótipo RB996519 apresentou o menor valor de acidez titulável, no entanto, não diferiu da testemunha. Enquanto que, os genótipos RB965560, RB996527 e RB92579 apresentaram os maiores valores de acidez neste ambiente, diferindo-se da testemunha. Em São Borja não houve diferença nos valores de acidez titulável entre os genótipos médio-tardios, com valores variando entre 5,0 e 6,1.

Quanto à variável sólidos solúveis totais do caldo (SST), entre os genótipos precoces, destacam-se RB006996 e RB855156 (testemunha) com valores de SST acima de 18,0 °Brix nos três ambientes avaliados (Tabela 16), valor este considerado ideal para industrialização (FERNANDES, 2011). Os genótipos RB036152 e RB975932 apresentaram valores muito baixos de SST em Salto do Jacuí, o que pode estar associado a degradação de açúcares pela ação microbiana, já que estes genótipos mostraram-se como altamente sensíveis ao frio nas avaliações de campo, apresentando morte do meristema apical, facilitando assim a ação de micro-organismos, os quais degradam sacarose e causam redução do pH (EGGLESTON, 2002; EGGLESTON; LEGENDRE, 2003). Ressalta-se ainda que neste grupo de maturação não houve genótipos superiores a testemunha quanto ao SST do caldo.

Entre os genótipos médio-tardios, observa-se na Tabela 16 que o maior acúmulo de açúcar ocorreu em Santa Rosa, no entanto, não houve genótipos superiores a testemunha RB867515 neste ambiente, fato este que ocorreu apenas em São Borja com superioridade para os genótipos RB996527 e RB92579, os quais apresentaram valores de 18,2 e 17,6 °Brix, respectivamente. Ainda nesta safra, observa-se que os

genótipos médio-tardios apresentaram valores de SST muito baixos em Salto do Jacuí comparados aos demais ambientes de estudo, variando de 15,8 a 13,2 °Brix, possivelmente como efeito dos danos severos observados a campo, os quais facilitam a entrada e ação de micro-organismos, com consequente degradação dos açúcares presentes no caldo.

Semelhante ao ocorrido na safra anterior, Salto do Jacuí foi o ambiente com maior número de dias com temperaturas mínimas do ar favoráveis a formação de geadas na safra 2016/17, com mínima registrada de -3,7 °C no dia 18 de julho de 2017 (Tabela 17). Em São Borja não foram registradas temperaturas mínimas abaixo de zero no abrigo meteorológico.

Tabela 17. Temperaturas mínimas do ar favoráveis a formação de geada registradas nos municípios de Salto do Jacuí e São Borja, durante o ano de 2017.

Data	Salto do Jacuí-RS	Data	São Borja-RS
	T mín. °C		T mín. °C
19/06/2017	3,6	20/06/2017	2,5
20/06/2017	0,4	21/06/2017	2,5
17/07/2017	1,8	18/07/2017	0,0
18/07/2017	-3,7	19/07/2017	0,0
19/07/2017	-0,9	20/07/2017	1,5
20/07/2017	3,1	21/07/2017	3,0
21/07/2017	3,0	-	-

Na avaliação de tolerância ao frio realizada em Salto do Jacuí representada na Figura 9, verifica-se que até a avaliação realizada no dia 13 de julho alguns genótipos precoces comportaram-se como altamente tolerantes (RB006996 e RB975932) e outros tolerantes (RB036152, RB016916 e RB855156 - testemunha) quando expostos a temperatura mínima do ar de 0,4 °C (registrada em 20 de junho). Nessa mesma avaliação os genótipos médio-tardios comportaram-se como altamente tolerantes (RB996519 e RB996527), tolerantes (RB92579 e RB867515 – testemunha) e intermediários (RB995560) a essa mesma temperatura. Deve-se considerar que a exposição prévia das plantas a baixas temperaturas e o teor de água nos tecidos podem contribuir ao ajuste osmótico celular conferindo maior ou menor habilidade para a suportar baixas temperaturas (LARCHER, 2000; BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017) justificando assim o comportamento dos genótipos nas duas safras. Na avaliação de tolerância ao frio realizada em 09 de agosto, todos os genótipos dos dois grupos de maturação apresentaram morte do meristema apical,

comportando-se como altamente sensíveis a temperatura do ar de -3,7 °C, observada no dia 18 de julho de 2017.

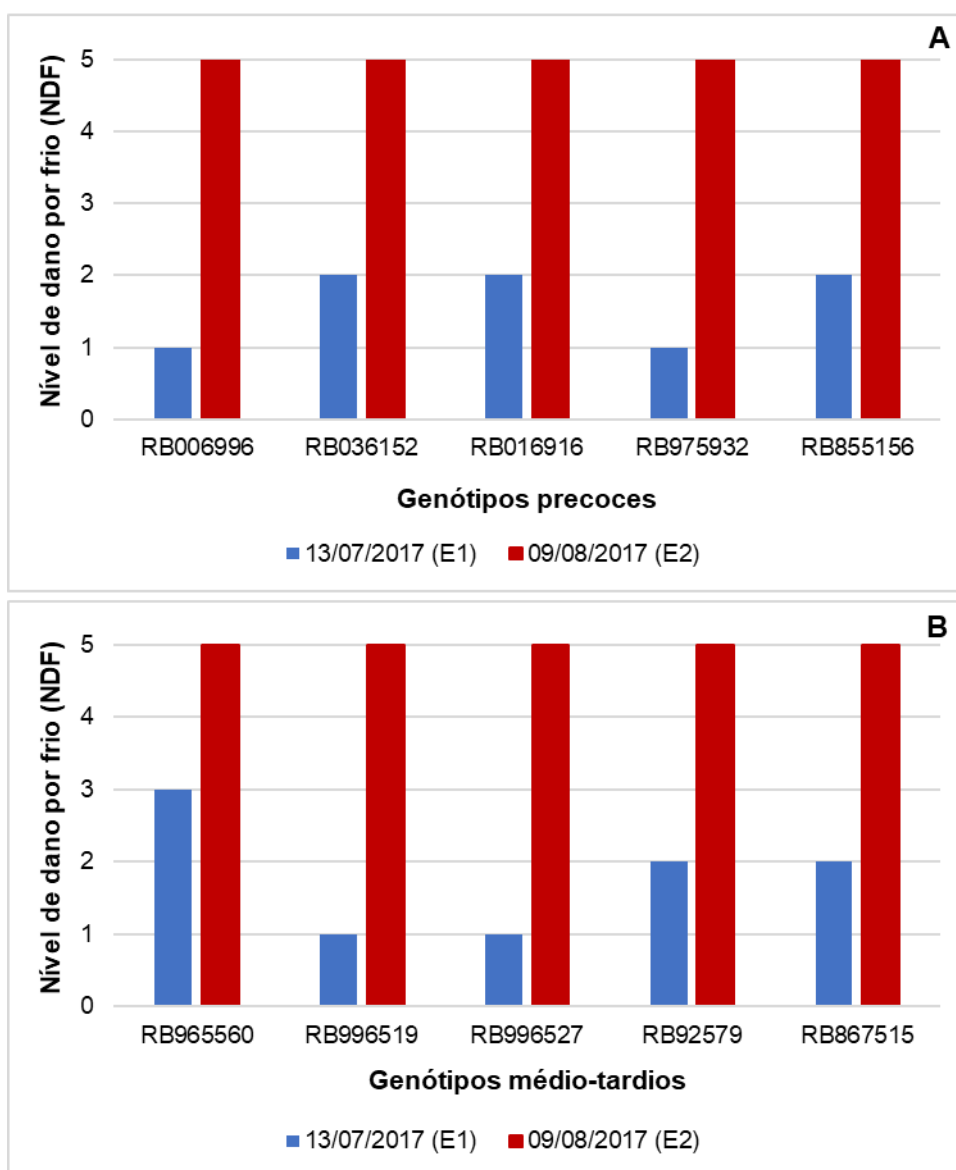


Figura 9. Nível de dano por frio avaliado em Salto do Jacuí-RS em duas épocas, safra 2016/2017.

Nas avaliações de pH do caldo realizadas em Salto do Jacuí, observa-se que os genótipos RB016916 e RB975932 não apresentaram diferença entre as épocas de avaliação. Enquanto que o RB006996, RB036152 e RB855156 apresentaram leve redução nos valores de pH da época de avaliação E1 para E2, com valor mínimo de pH de 5,25 (Tabela 18). Contudo, ainda em relação ao pH do caldo, não houve genótipos precoces superiores a testemunha RB855156. Mesmo ocorrendo queda nos valores de pH, estes ainda ficaram dentro dos níveis aceitáveis preconizados por Prati; Camargo (2008), inferindo que não houve elevada deterioração do caldo neste

período, com base neste parâmetro. Entretanto, estudos realizados por Eggleston; Legendre; Tew (2004) apontam que mudanças nos valores de pH indicam a formação de ácidos a partir da degradação microbiana de açúcares, causando redução nos valores de pH, o que pode variar em função do poder de tamponamento de cada genótipo ou variedade.

Entre os genótipos médio-tardios, não foram observadas variações nos valores de pH entre as épocas 1 e 2, visto que, também não houve genótipos superiores a testemunha RB867515.

A acidez titulável do caldo foi maior na época 2 para todos os genótipos dos dois grupos de maturação (Tabela 18), sendo que esta avaliação foi realizada aos 23 dias após a ocorrência da geada mais severa do ano de 2017, com maior variação entre as épocas para o RB855156 – testemunha (Δ 2,8 mL) e menor variação para o RB975932 (Δ 1,3 mL), o qual também apresentou menor valor de acidez titulável no grupo de maturação precoce. O aumento nos valores de acidez titulável indica algum grau de deterioração, através da formação e elevação dos níveis de ácidos orgânicos presentes no caldo (EGGLESTON; LEGENDRE; TEW, 2004). Entre os médio-tardios a maior e a menor variação foram dos genótipos RB996519 (Δ 3,7 mL) e RB996527 (Δ 1,0 mL), respectivamente. Além disso, os menores valores de acidez foram do RB996527 nas duas épocas avaliadas. Em trabalhos realizados por Eggleston; Legendre; Tew (2004) e Legendre et al. (2011), este tipo de variação nos valores de acidez também foi verificado após a ocorrência de geadas, com aumento de acidez entre a primeira e a última época de avaliação para maioria dos genótipos estudados.

Em relação ao acúmulo de SST do caldo, destacam-se entre os genótipos precoces o RB016916, RB006996, RB036152 e RB855156 (testemunha) com valores de SST acima de 18,0°Brix nas duas épocas de avaliação (Tabela 18). No entanto, nota-se que os genótipos RB006996 e RB855156 apresentaram redução de SST na E2 em comparação com E1, o que pode indicar início do declínio do teor de sacarose em razão da elevada precocidade destes genótipos, principalmente do RB855156, visto que, a segunda avaliação foi realizada no mês de agosto. Este tipo comportamento também foi verificado por Verissimo (2012), em genótipos precoces, os quais apresentaram declínio de SST a partir do mês de julho. Este declínio está associado a redução da taxa fotossintética no período de senescência, ocorrendo menor produção e armazenamento de fotoassimilados (sacarose), ocorrendo

consequentemente o consumo de sacarose já armazenada no vacúolo e espaços extracelulares, pelo processo de respiração (TAIZ; ZIEGER, 2013).

Tabela 18. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em duas épocas em Salto do Jacuí-RS, safra 2016/2017.

pH do caldo									Acidez titulável do caldo (ml de NaOH 0,1 N)						SST do caldo (°Brix)								
Genótipo	Ciclo	13/07/2017 (E1)			09/08/2017 (E2)			Média	13/07/2017 (E1)			09/08/2017 (E2)			Média	13/07/2017 (E1)			09/08/2017 (E2)			Média	
RB016916	P	5,41	a ¹	A	5,38	ab	A	5,40	8,2			10,8			9,5	19,4			19,9			19,7	a
RB855156*	P	5,47	ab	A	5,29	a	B	5,38	7,4			10,2			8,8	19,7			19,5			19,6	a
RB006996	P	5,40	ab	A	5,33	ab	B	5,37	7,7			9,2			8,5	19,6			19,4			19,5	a
RB975932	P	5,33	ab	A	5,31	b	A	5,32	7,4			8,7			8,1	17,8			17,9			17,9	b
RB036152	P	5,32	b	A	5,25	b	B	5,28	7,9			9,7			8,8	18,2			18,7			18,5	ab
Média		5,39			5,31			5,35	7,7	B		9,7	A		8,7	18,9			19,1			19,0	
CV (%)								0,80							11,5							2,8	
DMS (5%) para cultivar em cada época								0,07						1,7							0,9		
DMS (5%) para época em cada cultivar								0,11						2,5							1,3		
RB867515*	M-T	5,43			5,37			5,40	a	6,8		9,3			8,0	18,5	ns		18,7			18,6	
RB996527	M-T	5,34			5,32			5,33	ab	7,0		8,7			7,8	18,5			19,2			18,8	
RB92579	M-T	5,35			5,30			5,32	ab	7,4		9,4			8,4	16,6			18,5			17,5	
RB996519	M-T	5,34			5,29			5,32	ab	7,0		10,7			8,9	17,6			18,5			18,1	
RB965560	M-T	5,27			5,25			5,26	b	7,3		8,9			8,1	18,2			18,8			18,5	
Média		5,35		A	5,31		A	5,33		7,1	B	9,4	A		8,2	17,8			18,7			18,3	
CV (%)								0,91							14,4							4,2	
DMS (5%) para cultivar em cada época								0,08						2,0							1,3		
DMS (5%) para época em cada cultivar								0,12						2,9							1,9		

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Entre os médio-tardios destacam-se os genótipos RB996527, RB965560 e RB867515 (testemunha) com valores acima de 18,0 °Brix nas duas épocas avaliadas. Entretanto, não houve diferença de SST entre os genótipos nas duas épocas de avaliação.

Nas avaliações de tolerância ao frio realizadas em São Borja através do parâmetro nível de dano por frio (Figura 10), observa-se na primeira época de avaliação (E1) que os genótipos comportaram-se como altamente tolerantes, tolerantes e intermediários, com notas variando de 1 a 3 dentro dos dois grupos de maturação, sendo que neste período a temperatura mínima registrada foi de 2,5 °C.

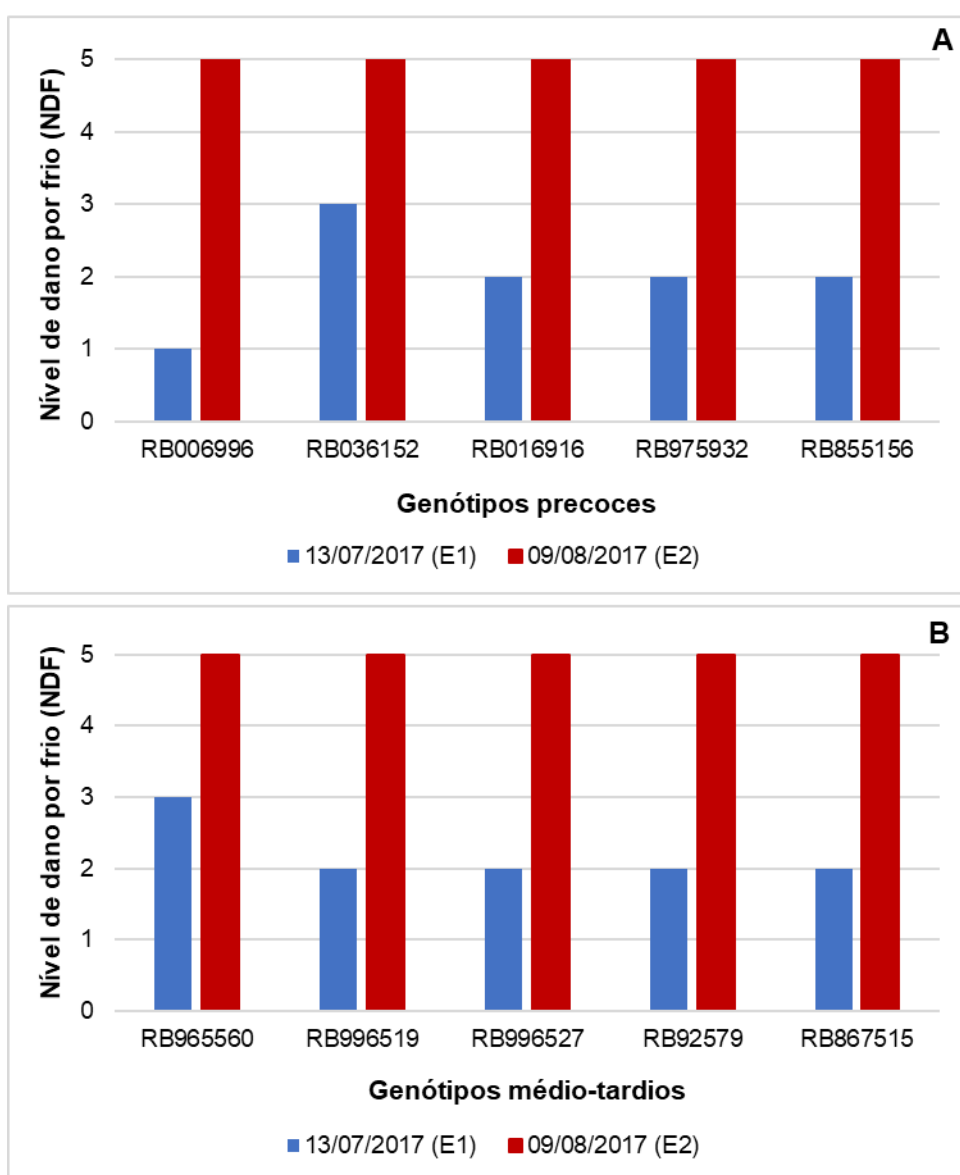


Figura 10. Nível de dano por frio avaliado em São Borja-RS em duas épocas, safra 2016/2017.

Na segunda época de avaliação (E2), todos os genótipos dos dois grupos de maturação apresentaram meristema apical morto (nota 5), com mínima registrada de 0 °C no abrigo meteorológico nos dias 18 e 19 de julho de 2017 (Tabela 17). No entanto, em razão dos danos verificados nas avaliações a campo, através do parâmetro nível de dano por frio, acredita-se que as temperaturas ocorridas ao nível das plantas nestes dias foram mais baixas do que a registrada no abrigo meteorológico. Em trabalho realizado no Estado de São Paulo, Sentelhas et al. (1995) verificaram que a diferença da temperatura mínima do ar medida em abrigo meteorológico e sobre a relva é, em média, de 4,1 °C, porém os autores relatam que há probabilidade de 40,9% de que essa diferença seja ainda maior. Além disso, a ocorrência de temperaturas máximas elevadas nos dias subsequentes, com máximas atingindo 30 °C, podem ter externalizado em um menor intervalo de tempo os danos por frio verificados nos genótipos, já que as mesmas favorecem a atividade microbiana e consequentemente aceleram a deterioração dos tecidos (LEGENDRE et al., 2011).

Em relação ao pH do caldo avaliado neste ambiente, observa-se que os genótipos precoces RB036152 e RB855156 (testemunha) apresentaram redução nos valores pH da E1 para E2 (Tabela 19). Enquanto que, os genótipos RB016916, RB006996 e RB975932 não diferiram entre as épocas, com valores pH acima de 5,4, o que pode ocorrer devido ao elevado poder de tamponamento desses genótipos. Contudo, não houve genótipos superiores a testemunha em pH, sendo que apenas o RB036152 apresentou pH inferior a testemunha, com valor de 5,2.

Entre os genótipos médio-tardios, não foi verificada diferença nos valores de pH da E1 para E2, e também não houve genótipos superiores a testemunha RB867515, sendo que, o menor valor de pH observado foi de 5,35 na E2 para o genótipo RB996527.

A acidez titulável do caldo foi maior para todos os genótipos dos dois grupos de maturação na segunda época de avaliação (E2) (Tabela 19), o que indica possível deterioração do caldo após a ocorrência de temperaturas favoráveis a formação de geadas. No entanto, os valores de acidez do caldo variaram entre as épocas de acordo com o genótipo, com destaque para o genótipo precoce RB975932 (Δ 3,7 mL), o qual também apresentou o maior valor de acidez neste grupo de maturação ao final das avaliações. Por outro lado, a menor variação entre as épocas foi do RB036152 (Δ 1,3 mL), enquanto que os menores valores de acidez foram verificados para o RB016916 nas duas épocas avaliadas, com acidez de 5,7 e 7,7 mL, respectivamente.

Tabela 19. Potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e sólidos solúveis totais do caldo de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em duas épocas em São Borja-RS, safra 2016/2017.

pH do caldo									Acidez titulável do caldo (ml de NaOH 0,1 N)			SST do caldo (°Brix)					
Genótipo	Ciclo	13/07/2017 (E1)			09/08/2017 (E2)			Média	13/07/2017 (E1)	09/08/2017 (E2)	Média	13/07/2017 (E1)	09/08/2017 (E2)	Média			
RB016916	P	5,59	a ¹	A	5,55	a	A	5,57	5,7	7,7	6,7	21,3	a	A	19,3	ab	B
RB855156*	P	5,68	a	A	5,43	a	B	5,56	5,9	8,5	7,2	20,5	ab	A	20,1	a	A
RB975932	P	5,47	a	A	5,44	ab	A	5,46	6,5	10,2	8,3	18,4	cd	A	19,1	ab	A
RB006996	P	5,48	a	A	5,41	ab	A	5,45	7,1	8,9	8,0	19,7	bc	A	20,0	ab	A
RB036152	P	5,43	a	A	5,20	b	B	5,32	7,2	8,5	7,9	18,0	d	A	18,6	b	A
Média		5,53			5,41			5,47	6,5	B	8,8	A	7,6		19,6		19,5
CV (%)								2,30			15,0						3,0
DMS (5%) para cultivar em cada época								0,22			2,0						1,0
DMS (5%) para época em cada cultivar								0,31			2,8						1,5
RB965560	M-T	5,49			5,46			5,47	a	6,6	8,4	7,5	19,9		20,5		20,2
RB867515*	M-T	5,49			5,45			5,47	a	7,2	8,2	7,7	18,8		19,6		19,2
RB92579	M-T	5,46			5,46			5,46	a	5,9	7,9	6,9	19,3		18,0		18,7
RB996519	M-T	5,45			5,40			5,43	a	5,4	7,1	6,3	19,2		18,2		18,7
RB996527	M-T	5,41			5,35			5,38	a	7,4	10,0	8,7	19,8		20,2		20,0
Média		5,46			5,42			5,44	6,5	B	8,3	A	7,4		19,4		19,4
CV (%)								0,98			13,7						3,2
DMS (5%) para cultivar em cada época								0,09			1,7						1,1
DMS (5%) para época em cada cultivar								0,13			2,5						1,5

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Entre os genótipos médio-tardios, a maior variação de acidez foi do RB996527 (Δ 2,6 mL), enquanto que, o RB867515 (testemunha) apresentou a menor variação de acidez entre as épocas (Δ 1,0 mL).

Na variável SST do caldo avaliada em São Borja, observa-se entre os genótipos precoces que praticamente não houve diferença no acúmulo de açúcar da E1 para E2 (Tabela 19), com exceção do RB016916 que apresentou declínio de SST, o que pode estar associado a elevada precocidade deste material, já que a segunda avaliação foi realizada no mês de agosto. Neste mesmo grupo de maturação não houve genótipos superiores a testemunha RB855156 no acúmulo de SST nas duas épocas avaliadas.

Entre os médio-tardios não houve diferença no acúmulo de SST entre as épocas de avaliação, do mesmo modo, também não houve genótipos superiores a testemunha RB867515.

Em relação a produtividade de colmos avaliada em Salto do Jacuí, expresso em TCH, observa-se entre os genótipos precoces rendimentos mais elevados na safra 2016/17 se comparada a safra anterior, com média produtiva de 78,5 t ha⁻¹, verificando-se também que não houve genótipos superiores a testemunha RB855156 neste ambiente (Tabela 20). A menor produtividade verificada para os genótipos deste grupo de maturação na safra 2015/16 pode estar relacionada ao menor volume de chuva acumulada neste ano agrícola, com registro de 14,8% a menos em comparação com a safra 2016/17. Percebe-se que os genótipos médio-tardios não apresentaram este comportamento, podendo ser um indicativo de maior exigência hídrica dos genótipos de maturação precoce.

Os genótipos médio-tardios não diferiram entre as safras, mostrando-se estáveis na produção de colmos, com exceção do RB92579 que apresentou produtividade mais baixa na safra 2016/17, com redução de 29,6%. Neste grupo de maturação apenas o RB92579 foi superior a testemunha RB867515 em TCH, na safra 2015/16, com produtividade de 133,4 t ha⁻¹.

Para a produtividade de açúcar (TSSTH), observa-se que os genótipos precoces apresentaram rendimento superior na safra 2016/17 (Tabela 20), no entanto, não superaram a testemunha RB855156 em nenhuma das safras, fato também verificado para TCH neste ambiente. Os resultados observados neste ambiente para os genótipos precoces corroboram com os estudos realizados por Stöhlirck et al. (2012) em safras anteriores, que também não verificaram genótipos superiores a variedade RB855156 em produtividade de colmos e açúcar.

Tabela 20. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Salto do Jacuí/RS.

Genótipo	Ciclo	TCH (t ha ⁻¹)				TSSTH (t ha ⁻¹)				Ef Es (g MJ ⁻¹)			
		Safra 2015/16	Safra 2016/17	Média		Safra 2015/16	Safra 2016/17	Média		Safra 2015/16	Safra 2016/17	Média	
RB975932	P	72,7	86,9	79,8	a	12,2	16,6	14,4	a	1,37	1,46	1,41	a
RB036152	P	63,5	80,0	71,7	ab	11,0	16,7	13,9	a	1,20	1,34	1,27	ab
RB855156*	P	50,6	92,5	71,6	ab	8,9	19,2	14,1	a	0,96	1,55	1,25	ab
RB006996	P	45,7	66,0	55,8	b	8,6	13,8	11,2	a	0,86	1,10	0,98	bc
RB016916	P	39,9	67,1	53,5	b	7,1	14,7	10,9	a	0,75	1,12	0,94	c
Média		54,5	B ¹ 78,5	A 66,5		9,5	B 16,2	A 12,9		1,03	B 1,31	A 1,20	
CV (%)		-	-	13,3		-	-	13,6		-	-	13,3	
DMS (5%) para cultivar em cada época				15,2				3,0				0,27	
DMS (5%) para época em cada cultivar				21,9				4,3				0,38	
RB92579	M-T	133,4	a A 93,9	ab B 113,7		21,7	a A 18,7	ab B 20,2		2,52	a A 1,57	ab B 2,05	
RB965560	M-T	95,4	b A 103,1	a A 99,3		16,8	b B 20,9	a A 18,9		1,80	b A 1,73	a A 1,76	
RB867515*	M-T	84,3	bc A 92,2	ab A 88,3		12,7	c B 18,5	ab A 15,6		1,59	bc A 1,55	ab A 1,57	
RB996527	M-T	71,3	bc A 75,6	b A 73,5		12,7	c B 15,5	b A 14,1		1,35	bc A 1,27	b A 1,31	
RB996519	M-T	63,8	c A 75,3	b A 69,5		9,4	c B 14,8	b A 12,1		1,20	c A 1,26	b A 1,23	
Média		89,6	88,0	88,8		14,7	17,7	16,2		1,69	1,48	1,58	
CV (%)		-	-	11,5		-	-	9,7		-	-	11,6	
DMS (5%) para cultivar em cada época				17,5				2,7				0,32	
DMS (5%) para época em cada cultivar				25,2				3,9				0,45	

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Entre os médio-tardios, a TSSTH também foi mais elevada na safra 2016/17 para maioria dos genótipos, com exceção do RB92579 que apresentou rendimento superior na safra 2015/16, com produtividade de 21,7 t ha⁻¹, superando a testemunha RB867515 nesta safra. Mesmo com produtividades elevadas na safra 2016/17, não houve genótipos superiores a testemunha.

Assim como observado para as variáveis TCH e TSSTH, a eficiência dos genótipos precoces em converter energia solar em produção (Ef Es) foi maior na safra 2016/17 (Tabela 20), sendo que nenhum dos genótipos deste grupo de maturação superou a testemunha RB855156 nas duas safras avaliadas.

Para os médio-tardios, observa-se que a maioria dos genótipos não diferiu em Ef Es entre as safras, com exceção do RB92579 que apresentou maior Ef Es na safra 2015/16, comportamento semelhante ao verificado para TCH, visto que, apenas este genótipo foi superior a testemunha RB867515 em Ef Es, na safra 2015/16, não havendo superioridade dos genótipos em relação a testemunha na safra seguinte.

A produtividade de colmos avaliada em Santa Rosa foi superior na safra 2015/16 se comparada com a safra 2016/17 para maioria dos genótipos precoces, com exceção do RB855156 (testemunha) que se mostrou estável em TCH e não diferiu entre as safras, com produtividade média de 84,9 t ha⁻¹ (Tabela 21). Neste grupo de maturação, apenas na safra 2015/16 houve genótipos (RB016916, RB975932 e RB006996) superiores a testemunha em TCH. Resultados semelhantes foram relatados por Härter et al. (2016), que verificaram superioridade do RB016916 em relação a testemunha nesta mesma safra e ambiente, evidenciando o elevado potencial deste genótipo.

Em relação aos médio-tardios, a maioria dos genótipos apresentou produtividades superiores na safra 2015/16, com exceção do RB996527 que não diferiu entre as safras, apresentando estabilidade produtiva, com média de TCH 66,2 t ha⁻¹, mesmo assim este genótipo foi inferior a testemunha RB867515 nas duas safras avaliadas. Ressalta-se ainda que entre os médio-tardios não houve genótipos superiores a testemunha em TCH.

As maiores produtividades verificadas na safra 2015/16 comparada com a safra 2016/17 neste ambiente para grande parte dos genótipos de ambos grupos de maturação, é um resultado esperado, uma vez que não houve restrições meteorológicas nos dois anos agrícolas, confirmando a tendência de redução de produtividade dos canaviais ao longo dos anos de cultivo.

Tabela 21. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, Santa Rosa/RS.

Genótipo	TCH (t ha ⁻¹)								TSSTH (t ha ⁻¹)								Ef Es (g MJ ⁻¹)								
	Ciclo	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média			
RB016916	P	152,4	a ¹	A	115,2	a	B	133,8	33,5	a	A	26,4	a	B	29,9	2,59	a	A	1,86	a	B	2,23			
RB975932	P	127,0	ab	A	106,6	a	B	116,8	26,6	b	A	23,1	ab	A	24,8	2,16	ab	A	1,73	a	B	1,94			
RB006996	P	108,1	bc	A	72,9	b	B	90,5	22,6	bc	A	16,0	c	B	19,3	1,84	bc	A	1,18	b	B	1,51			
RB855156*	P	79,5	d	A	90,2	ab	A	84,9	16,3	c	A	18,7	bc	A	17,5	1,35	d	A	1,46	ab	A	1,40			
RB036152	P	92,0	cd	A	67,6	b	B	79,8	16,6	c	A	14,6	c	A	15,6	1,56	cd	A	1,09	b	B	1,33			
Média		111,8			90,5			101,1	23,1			19,7			21,4	1,90			1,46			1,68			
CV (%)		-			-			10,9	-			-			12,0	-			-			10,8			
DMS (5%) para cultivar em cada época								18,8									4,4								
DMS (5%) para época em cada cultivar								27,1									6,3								
RB867515*	M-T	166,2	a	A	85,6	ab	B	125,9	33,3	a	A	16,8	ab	B	25,1	2,82	a	A	1,38	ab	B	2,10			
RB92579	M-T	123,1	b	A	90,6	a	B	106,9	24,1	b	A	18,0	a	B	21,0	2,09	b	A	1,47	a	B	1,78			
RB996519	M-T	134,7	b	A	72,7	abc	B	103,7	26,9	b	A	14,7	ab	B	20,8	2,29	b	A	1,18	abc	B	1,73			
RB965560	M-T	86,8	c	A	63,4	bc	B	75,1	17,8	c	A	13,2	ab	B	15,5	1,47	c	A	1,02	bc	B	1,25			
RB996527	M-T	73,3	c	A	59,1	c	A	66,2	15,0	c	A	12,8	b	A	13,9	1,24	c	A	0,96	c	B	1,10			
Média		116,8			74,3			95,6	23,4			15,1			19,3	1,98			1,20			1,59			
CV (%)		-			-			10,1	-			-			10,4	-			-			10,2			
DMS (5%) para cultivar em cada época								16,6									3,4								
DMS (5%) para época em cada cultivar								23,9									5,0								

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Para produtividade de açúcar (TSSTH) neste ambiente, observa-se que os genótipos precoces RB975932, RB036152 e RB855156 (testemunha) não diferiram em TSSTH entre as safras (Tabela 21), mostrando-se estáveis na produção de açúcar, enquanto que, o RB016916 e o RB006996 apresentaram TSSTH superior na safra 2015/16. Além disso, apenas o genótipo RB016916 foi superior a testemunha em TSSTH nas duas safras avaliadas, mostrando o elevado potencial deste genótipo na produção de açúcar.

Entre os médio-tardios não houve genótipos superiores a testemunha RB867515 em produtividade de açúcar, o que também foi verificado para TCH. Corroborando com os resultados obtidos por Härter et al. (2016) neste mesmo ambiente na safra 2015/16, evidenciando o elevado potencial produtivo desta variedade. Neste grupo de maturação a TSSTH foi superior na safra 2015/16, com exceção do RB996527 que não diferiu entre as safras, o que também foi verificado para TCH, evidenciando a estabilidade deste genótipo tanto na produção de colmos como na produção de açúcar. Entretanto, as produtividades apresentadas pelo RB996527 são consideradas baixas se comparadas aos demais genótipos estudados.

Todos os genótipos avaliados apresentaram eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) superior na safra 2015/16 (Tabela 21), com exceção do RB855156 (testemunha – precoce) que não diferiu entre as safras, evidenciando a estabilidade fenotípica deste genótipo, visto que este apresentou o mesmo comportamento para TCH e TSSTH. Entre os genótipos precoces, o RB016916, RB975932 e RB006996 foram superiores a testemunha em Ef Es, apenas na safra 2015/16. Já entre o grupo de maturação médio-tardio, não houve genótipos superiores a testemunha RB867515 em Ef Es, a qual apresentou grande potencial neste ambiente também na produção de colmos e açúcar.

Nas avaliações de produtividade de colmos (TCH) realizadas em São Borja, observa-se maior TCH na safra 2016/17 para maioria dos genótipos dos dois grupos de maturação, com exceção do genótipo precoce RB006996 que não diferiu em produtividade entre as safras, mostrando-se estável na produção de colmos, com média de 58,0 t ha⁻¹, porém com produtividade abaixo da média geral (60,5 t ha⁻¹) (Tabela 22). Entre os precoces destaca-se o RB016916 com produtividade de 98,0 t ha⁻¹ na safra 2016/17, superando a testemunha RB855156. Já entre os médio-tardios não houve genótipos superiores a testemunha RB867515 em TCH na média das duas safras.

Tabela 22. Tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e eficiência de conversão de energia solar em produção (Ef Es) de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de ciclo precoce e médio-tardio, avaliados em dois anos agrícolas, São Borja/RS.

Genótipo	TCH (t ha ⁻¹)								TSSTH (t ha ⁻¹)								Ef Es (g MJ ⁻¹)								
	Ciclo	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média	Safr 2015/16			Safr 2016/17			Média			
RB016916	P	49,9	a ¹	B	98,1	a	A	74,0	10,4	a	B	22,0	a	A	16,2	1,03	ab	B	1,67	a	A	1,35			
RB006996	P	54,5	a	A	61,5	b	A	58,0	10,3	a	B	13,9	b	A	12,1	1,12	a	A	1,05	b	A	1,09			
RB855156*	P	37,6	a	B	78,3	b	A	58,0	7,9	a	B	17,0	b	A	12,5	0,77	b	B	1,33	b	A	1,05			
RB975932	P	38,6	a	B	76,5	b	A	57,5	6,4	a	B	16,0	b	A	11,2	0,79	b	B	1,30	b	A	1,05			
RB036152	P	43,0	a	B	66,8	b	A	54,9	7,9	a	B	14,7	b	A	11,3	0,88	ab	B	1,13	b	A	1,01			
Média		44,7			76,2			60,5	8,6			16,7			12,7	0,92			1,30			1,11			
CV (%)		-			-			11,7	-			-			12,9	-			-			11,3			
DMS (5%) para cultivar em cada época								12,1									2,8								
DMS (5%) para época em cada cultivar								17,5									4,0								
RB996519	M-T	52,9			89,9			71,4	a	9,6			18,6			14,1	a	1,09		1,53		1,31	a		
RB867515*	M-T	56,5			80,4			68,5	ab	10,4			16,8			13,6	a	1,16		1,37		1,27	ab		
RB92579	M-T	55,4			77,0			66,2	ab	10,6			16,1			13,4	a	1,14		1,31		1,23	ab		
RB996527	M-T	43,5			50,6			47,1	b	8,8			11,3			10,1	a	0,90		0,86		0,88	ab		
RB965560	M-T	41,0			50,8			45,9	b	8,6			11,4			10,0	a	0,84		0,86		0,85	b		
Média		49,9		B	69,8		A	59,8		9,6		B	14,8		A	12,2		1,03		1,19		1,11			
CV (%)		-			-			16,0		-			-			16,5		-		-		15,8			
DMS (5%) para cultivar em cada época								16,4									3,5								
DMS (5%) para época em cada cultivar								23,6									5,0								

*Variedades consideradas testemunhas para seus respectivos ciclos de maturação; ¹Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; DMS: Diferença mínima significativa.

Os menores valores de TCH para os dois grupos de maturação na safra 2015/16, podem estar relacionados ao baixo volume de chuva acumulada neste ano agrícola, sendo 33,1% menor do que na safra 2016/17, onde o acumulado foi de 1872,5 mm.

Em relação a produtividade de açúcar (TSSTH), verifica-se que todos os genótipos dos dois grupos de maturação apresentaram TSSTH superior na safra 2016/17 (Tabela 22), com destaque novamente entre os precoces para o RB016916 com elevada produtividade, superando a testemunha na safra 2016/17. Enquanto que, para os médio-tardios não houve superioridade em relação a testemunha, assim como observado para TCH.

A eficiência dos genótipos em converter energia solar em produção em São Borja foi maior na safra 2016/17 para maioria dos genótipos precoces (Tabela 22), com exceção do RB006996 que não diferiu em Ef Es entre as safras, o que também foi verificado para TCH, evidenciando a estabilidade deste genótipo na produtividade de colmos e na eficiência de conversão de energia solar em produção. Neste grupo de maturação, apenas os genótipos RB006996 e RB016916 foram superiores a testemunha RB855156 em Ef Es, no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente.

Entre os médio-tardios não houve genótipos superiores a testemunha RB867515 em Ef Es, o que também foi verificado para TCH e TSSTH, mostrando o alto potencial produtivo desta variedade, atualmente a mais cultivada no território nacional, com área superior a 2,2 milhões de ha, representando 25% da área total (DAROS et al., 2015). Diversos estudos no estado do Rio Grande do Sul confirmam o elevado potencial produtivo desta variedade, entre eles estão os trabalhos conduzidos em diferentes ambientes por Verissimo (2012), Rugeri (2015) e Moraes et al. (2017), o que mostra a ampla adaptação desta variedade as condições climáticas do RS.

De maneira geral, verifica-se que houve grande variabilidade no comportamento dos genótipos entre os ambientes, considerando-se os parâmetros tolerância ao frio e qualidade do caldo, o que está atrelado principalmente as diferentes temperaturas mínimas do ar registradas durante o período de avaliação em cada ambiente e ano agrícola, juntamente com a capacidade de aclimação e adaptação de cada genótipo a determinado ambiente.

Em Salto do Jacuí, a temperatura mínima do ar registrada no abrigo meteorológico na safra 2015/16 foi de -3,0 °C, sendo letal para maioria dos genótipos

dos dois grupos de maturação, com exceção do RB006996 e RB92579, enquanto que, na safra 2016/17 a mínima do ar registrada foi de -3,7 °C, ocasionando a morte do meristema apical para todos os genótipos estudados neste ambiente. Contudo, destacaram-se nos dois anos agrícolas neste ambiente os genótipos RB006996 (precoce) e RB92579 (médio-tardio) com os melhores desempenhos com base nos parâmetros avaliados. Além disso, o RB975932 apesar de ter apresentando morte do meristema apical nas duas safras, destaca-se com os menores valores de acidez, o que indica a manutenção da qualidade do caldo após os danos ocorridos em consequência das baixas temperaturas, no entanto, com acúmulo de SST abaixo de 18,0 °Brix, podendo ser um indicativo de início de degradação de açúcares pela ação microbiana, em função da morte do meristema apical.

Em Santa Rosa não foram verificados danos severos aos genótipos, visto que não ocorreu morte do meristema apical mesmo com temperatura mínima do ar registrada de -0,9 °C na safra 2015/16, destacando-se novamente com base nos parâmetros de qualidade entre os precoces o RB006996 e o RB975932, além do RB016916, enquanto que, para os médio-tardios os melhores desempenhos foram do RB996519 e da testemunha RB867515.

Em São Borja na safra 2015/16 a temperatura mínima do ar foi de 0,5 °C, e assim como em Santa Rosa também não foram verificados danos severos aos genótipos. No entanto, na safra 2016/17 a mínima do ar registrada foi de 0 °C, observando-se danos intensos, com morte do meristema apical de todos os genótipos dos dois grupos de maturação. Deste modo, acredita-se que tenham ocorrido temperaturas mais baixas na área experimental em função dos danos verificados e que, portanto, temperatura mínima do ar de 0 °C não seria suficiente para causar danos com essas proporções. Neste ambiente, os melhores desempenhos nos dois anos agrícolas foram dos genótipos RB016916, RB855156 (precoces), RB996519 e RB92579 (médio-tardios).

Em relação a produtividade também observa-se uma grande variabilidade dos genótipos entre os ambientes e safras, o que está diretamente relacionado as condições meteorológicas ocorridas em cada ano agrícola, juntamente com a capacidade de aclimação e adaptação de cada genótipo aos diferentes ambientes.

6.4 Conclusões

Os genótipos precoces e médio-tardios de cana-de-açúcar apresentam variabilidade para tolerância ao frio, qualidade, produtividade e eficiência de conversão de energia solar em produção de acordo com o ambiente de cultivo.

Em temperaturas mínimas do ar de até -3,0 °C, os genótipos RB006996 de ciclo precoce e o RB92579 de ciclo médio-tardio apresentam tolerância ao frio e elevada qualidade de caldo, enquanto que temperaturas abaixo deste valor são letais para todos os genótipos dos dois grupos de maturação.

Os genótipos RB016916, RB975932 de ciclo de maturação precoce e o RB92579 e RB867515 (testemunha) de maturação médio-tardia apresentam maior potencial produtivo.

7. CONCLUSÃO GERAL

Durante os dois anos agrícolas de estudo foi possível identificar genótipos de cana-de-açúcar com excelente desempenho agrônômico, com base nos parâmetros avaliados e temperaturas mínima do ar ao qual foram expostos nos diferentes ambientes. Nota-se que há genótipos amplamente adaptados ao clima da região de estudo, o que está atrelado em grande parte ao processo de aclimação, que permite uma maior tolerância as temperaturas baixas, tornando-as benéficas para o processo de maturação. No entanto, pôde-se perceber que temperaturas negativas na maioria dos casos podem resultar em danos severos, como morte do meristema apical, resultando em redução de qualidade do caldo e produtividade, visto que este comportamento pode variar de acordo com o nível de intensidade e tempo de exposição a este tipo de temperatura, sendo de extrema importância a seleção *in loco* de genótipos expostos a diferentes ambientes com ocorrência de geadas, o que irá proporcionar maior confiabilidade na indicação de novos genótipos e variedades.

8. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D.; MENDONÇA, M. Climatologia das geadas em Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. **Anais....** Florianópolis: GEDN/UFSC 2004, 762-773p.
- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 3. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2011.
- ALMEIDA, I. R. de.; SILVA, S. D. dos A. e.; STEINMETZ, S. A. Aspectos gerais e específicos do zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 2.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE AGROENERGIA, 2., 2008, Porto Alegre. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 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.
- ANTUNES, W. R. **Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar em cinco locais no Rio Grande do Sul**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 322p.
- 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, C. R.; POMMER, C. V.; CAMARGO, A. P.; BOVI, V.; CIONE, J.; RIBEIRO, R. F. Efeito da geada nas características tecnológicas de algumas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.6, p. 565-574, 1983.
- BERGAMASCHI, H; BERGONCI, J.I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352p.
- BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.16, p.7-16, 2010.
- BONINI, A. S. dos S. **Relação entre seqüências de temperaturas mínimas e riscos de geadas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 108f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, 2008.

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

BRIXNER, G. F. ; SCHÖFFEL, E. R. ; LAGO, I. ; RADÜNZ, A. L. ; KRUGER, A. P. . Risco de geada e duração dos subperíodos fenológicos da 'Cabernet Sauvignon' na região da Campanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 210-216, 2014.

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.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q de.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 36, p. 833-842, 2012.

CESNIK, R.; BASSINELLO, A. I.; OLIVEIRA, F. F. S. Frost resistance of sugarcane genotypes and varieties, a study of some progenies. **Plant Breeding**, v.1, p. 306-313, 1978.

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

CIB. Conselho de informações sobre biotecnologia. **Guia da cana-de-açúcar: Avanço científico beneficia o país**. 2009. 20p. Acessado em 25 de jul. 2016. Disponível em: <http://cib.org.br/wpcontent/uploads/2011/10/guia_cana.pdf>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, quarto levantamento da safra 2016/17, abril de 2017. Brasília, v.3, n.4, p. 1-77, 2017.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A. de; BARBOSA, G. V. S. **45 Anos de Variedades RB de Cana-de-açúcar: 25 anos de RIDESA**. 1. ed. Curitiba: Editora Graciosa, 2015. 156p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

D'HONT, A.; MENDES SOUZA, G.; MENOSSI, M.; VINCENTZ, M.; VAN SLUYS, M.A.; GLASZMANN, J.C.; ULIAN, E.C. Sugarcane: A Major Source of Sweetness, Alcohol, and Bio-energy. In: MOORE, P. H.; MING, R. **Genomics of Tropical Crop Plants**. New York: Springer, 2008. p. 483-513.

EGGLESTON, G. Deterioration of cane juice - sources and indicators. **Food Chemistry**, v.78, p.95-103, 2002.

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B. Mannitol and oligosaccharides as new criteria for determining cold tolerance in sugarcane varieties. **Food Chemistry**, v. 80, n. 4, p.451-461, 2003.

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

FAOSTAT. **Food and agricultural commodities production**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=en>>. 2013. Acesso em: 25 de Set. 2017.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 433 p.

FEE. Fundação de economia e estatística. **Características da agropecuária do RS**. Disponível em: <<https://www.fee.rs.gov.br/sinteseilustrada/caracteristicas-da-agropecuaria-do-rs/>>.2015. Acesso em: 07 de Fev. 2018.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 3.ed. Piracicaba: STAB, 2011. 416p.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.31-44.

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. In: International Society of Sugar Cane Technologists 10th Germplasm and Breeding/7th Molecular Biology Workshop, Maceio. **Anais...** 2011.

HÄRTER, A.; SILVA, S. D. dos A. e; VERISSIMO, M. A. A.; LEMOES, L.; PERES, M. M. Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar em ciclo de primeira soca no município de Pelotas, RS. In: Congresso de Iniciação Científica, 20.; Mostra Científica, 3., Pelotas, UFPel. **Anais...**, 2011.

HARTER, A.; ANTUNES, W. R.; LEMOES, L. S.; CAMPOS, A. D. S.; MONTERO, C. R. S.; SILVA, S. D. A. Produtividade de genótipos de cana-de-açúcar em Santa Rosa, RS. In: XVIII Encontro de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pelotas, 2016, Pelotas. **Anais...**, 2016.

HÄRTER, A.; ANTUNES, W. R.; CAMPOS, A. D. S dos.; LEMOES, L. S.; MASCARENHAS, L. S.; SILVA, S. D. A. Desempenho agrônômico de variedades de cana-de-açúcar avaliadas em quinta soca. **Ciência & Tecnologia**, v. 8, p.263-267, 2016.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, janeiro de 2017. Rio de Janeiro, v.30 n.1 p.1-81, 2017.

IBGE. **Censo agropecuário de 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de nov. 2017.

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.

LAKSHMANAN, P.; ROBINSON, N. Stress Physiology: Abiotic Stresses. **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**, p.411-434, 2014.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas (**Documentos IAC, N. 109**). Campinas: Instituto Agrônômico, 2012, 16 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 398p.

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, p. 148-156, 2011.

LIU, Y.F.; QI, M.F.; LI, T.L. Photosynthesis, photoinhibition, and antioxidant system in tomato leaves stressed by low night temperature and their subsequent recovery. **Plant Science**, v.196, p.8-17, 2012.

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.

MAPA. **Mistério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 26 de Mar. 2018.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. de A. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p.111-130.

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.

MELO-ABREU, J. P.; RIBEIRO, A. C. **Os danos de geada: conceitos, mecanismos e modelos de simulação**. In: FIGUEIREDO, T.; RIBEIRO, L. F.; RIBEIRO, A. C.; FERNANDES, L. F. **Clima e Recursos Naturais: Conferências de Homenagem ao professor Doutor Dionísio Gonçalves**, São Paulo: Instituto Politécnico de Bragança, 2010. p.141-166.

MORAIS, K. P.; MEDEIROS, S. L. P.; SILVA, S. D. A.; BIONDO, J. C.; BOELTER, J. H.; DIAS, F. S. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 64, n.3, p. 291-297, 2017.

OLIVEIRA, R. P.; JOÃO, P. L.; ALMEIDA, I. R de.; SCHWARZ, S. F.; SCIVITTARO, W. B.; GONZATTO, M. P.; SCHUCH, J. L. D.; BOARO, V.; PETRY, H. B. **Manejo de pomares de citrus contra geadas**. 1. ed. Pelotas:Embrapa Clima Temperado (CPACT), 2012, 38p.

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

PANZIERA, W.; SILVA, S. D. A.; VERÍSSIMO, M. A. A.; STHÖLIRCK, L.; PERES, M. M.; TATTO, F. R. Desempenho de genótipos promissores de cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul em ciclo de cana planta e cana soca no município de Pelotas, RS, safras 2010/11 e 2011/12. In: Simpósio estadual de agroenergia, 4, Reunião técnica de agroenergia, 4, 2012: Porto Alegre. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

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

PLANALSUCAR. Programa Nacional de Melhoramento da cana-de-açúcar. **Geadas: procedimentos com a cana-de-açúcar atingida**. Piracicaba: Planalsucar, 1982. 20p.

PRATI, P.; CAMARGO, G. A. Características do caldo de cana e sua influência na estabilidade da bebida. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.2, p. 037-044, 2008.

ROMERO, E.; DIGONZELLI, P.; SCANDALIARIS, J. **Las heladas em la zona cañera de Tucumán-2013**. Disponível em: <<http://www.eeaoc.org.ar/agromet/publicaciones.php>>. Acesso em: 17 de Nov. 2017.

RUGERI, A. P. **Identificação do uso e desempenho de genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul**. 2015. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

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

SENTELHAS, P. C.; ORTOLAN, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

SEPLAG. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 29 Dez. 2017.

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, S. D. A.; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R.C.; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. **Sistema de Produção da Cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2016. 247p.

SNYDER, R. L.; MELO-ABREU, J. P de.; Villar-Mir, J. M. **Protección contra las heladas: fundamentos,prácticay economia**. Roma: FAO, 2010. 240p.

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**. 2008. 77f.Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geomática. Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

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.

STÖHLIRCK, L.; PANZIERA, W.; ANTUNES, W. R.; HÄRTER, A.; PANAZZO, L. E.; SILVA, S. D. dos A. e Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em Salto do Jacuí/RS, safras 2010/11 e 2011/12. In: Simpósio estadual de agroenergia, 4, Reunião técnica de agroenergia, 4, 2012: Porto Alegre. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. 62f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. 2006.

TAI, P.Y.P.; LENTINI, R.S. Freeze damage of Florida sugarcane. In: ANDERSON, D.L. **Sugarcane Handbook**. Florida: Cooperative Extension, 1998. p. 1-3.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre:Artemed, 2013. 954p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L de. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1984. 374p.

UEMURA, M.; JOSEPH, R. A.; STEPONKUS, P. L. Cold acclimation of *Arabidopsis thaliana*. Effect on plasma membrane lipid composition and freeze-induced lesions. **Plant Physiology**, v. 109, p. 15-30, 1995.

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**, v.82, p. 422-426, 2009.

VAN HEERDEN, P. D. R. Differential acclimation capacity to frost in sugarcane varieties grown under field conditions. **Plant Growth Regulation**, v.72, p.181-187, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital 2, 2006. 351p.

VERISSIMO, M. A. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul**. 2012. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

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.

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**, p.256-260, 1993.

WMO. World Meteorological Organization. **Guide to Agricultural Meteorological Practices**. N° 134. 2012.

WREGGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T.; FERREIRA, R. C.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, S. L. Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, p. 143-150, 2004.

WREGGE, 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.

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

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