

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Maurício Faé

**PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DO  
SORGO SACARINO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE  
REDUTOR DE CRESCIMENTO**

Santa Maria, RS  
2021



**Maurício Faé**

**PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DO SORGO  
SACARINO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE REDUTOR DE  
CRESCIMENTO**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Agronomia, da  
Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia**

Orientador: Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros

Santa Maria, RS  
2021

Faé, Maurício  
PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DO SORGO  
SACARINO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE REDUTOR DE  
CRESCIMENTO / Maurício Faé.- 2021.  
65 p.; 30 cm

Orientador: Sandro Luis Petter Medeiros  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2021

1. Sorghum bicolor (L.) Moench 2. Etanol 3.  
Acasalamento 4. Produção de caldo I. Luis Petter Medeiros,  
Sandro II. Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da usm. dados fornecidos pelo  
autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca  
central. bibliotecária responsável paula schoenfeldt patta cma 10/1728.

---

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Maurício Faé. A reprodução de partes  
ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.


E-mail: mauricio.fae@hotmail.com


---

**PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DO SORGO  
SACARINO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE REDUTOR DE  
CRESCIMENTO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia

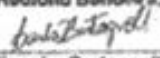
Aprovado em 26 de agosto de 2021:

  
Sandro Luis Patzer Bladinos, Dr. (UFSM) - Videoconferência  
(Presidente/Orientador)

  
Toshio Nishijima, Dr. (UFSM) - Videoconferência

  
Juçara Terezinha Paranhos, Dra. (UFSM) - Videoconferência

  
Andriele Hedlund Bandeira, Dra. (IFFar) - Videoconferência

  
Carla Medianeira Bertagnolli, Dra. (IFFar) - Videoconferência

Santa Maria, RS  
2021

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAGRO), por possibilitarem a realização desse sonho, além disso agradeço pela alta qualidade das disciplinas ofertadas e pela capacidade de ensino de todos os professores que fizeram parte da minha formação.

Ao meu orientador, professor Dr. Sandro Luis Petter Medeiros, por toda dedicação e paciência em me auxiliar sempre que necessário, por todo conhecimento compartilhado e por acreditar na minha capacidade de vencer mais essa etapa.

Ao meu Pai Alencar, minha Mãe Veronice e meu irmão Fabiano pelo apoio e compreensão, por entenderem a importância dessa conquista na minha vida e estarem ao meu lado sempre que necessário.

Aos meus colegas da pós-graduação e funcionários do departamento de fitotecnia da UFSM, pelo conhecimento e experiências compartilhadas.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e minha formação, meu **Muito Obrigado!**

## RESUMO

### PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DO SORGO SACARINO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE REDUTOR DE CRESCIMENTO

AUTOR: Maurício Faé

ORIENTADOR: Sandro Luis Petter Medeiros

A busca por fontes de energia renováveis atrelada à necessidade de redução da poluição impulsiona a produção de etanol. Nesse cenário, a cultura do sorgo sacarino vem ganhando notoriedade por preencher a entressafra da cana-de-açúcar, ter boa produção de biomassa, colmos ricos em açúcares fermentescíveis e ciclo curto. Entretanto, o elevado porte das plantas torna a cultura suscetível ao acamamento, representando dificuldades na colheita e possível redução na produção. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas na qualidade e na produção total de caldo do sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e BRS 506, em diferentes dosagens (0,75 L ha<sup>-1</sup> e 1,5 L ha<sup>-1</sup>) e épocas de aplicação (vegetativo 5 e vegetativo 8) do princípio ativo trinexapac-ethyl, afim de identificar a dosagem e época correta de aplicação que reduza o acamamento de plantas, sem perdas significativas na produção total e qualidade do caldo produzido. Além disso buscou-se compreender o comportamento e as correlações entre as variáveis morfológicas nas dosagens, épocas e cultivares. Foram realizados três ensaios na cidade de Santa Maria – RS nos anos agrícolas 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021. As variáveis analisadas foram: produção total de caldo (PC), teor de sólidos solúveis (SS), altura de planta (ALT), diâmetro de colmo (DC), massa seca de folha (MSF), massa seca de panícula (MSP), massa seca de colmo (MSC) e acamamento. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk, teste F e teste T de Student a 5% de probabilidade, também foram estimados os coeficientes de correlação entre as variáveis morfológicas, através da correlação de Pearson. A aplicação do trinexapac-ethyl nas dosagens testadas reduziu o desenvolvimento vegetativo das plantas, diminuindo o acamamento e maximizando o teor de sólidos solúveis do caldo, entretanto resultou em queda significativa na quantidade total de caldo produzida, independentemente da época de aplicação e cultivar. Ademais, existiu correlação linear positiva significativa de alta magnitude entre as variáveis morfológicas ALT, MSF e MSC.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Etanol. Acamamento. Produção de caldo

## ABSTRACT

### MORPHO-PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN THE PRODUCTION OF SWEET SORGHUM IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF GROWTH REDUCER

AUTHOR: Maurício Faé  
ADVISOR: Sandro Luis Petter Medeiros

The search for renewable energy sources coupled with the need to reduce pollution drives the ethanol production. In this scenario, the sweet sorghum culture has been gaining notoriety for filling the sugarcane off-season, having good biomass production, stalks rich in fermentable sugars and a short cycle. However, the high size of the plants makes the crop susceptible to lodging, representing difficulties in harvesting and possible reduction in production. In this way, the aim of the present study was to evaluate the responses of the broth production, its quality, the plant morphology and lodging of sweet sorghum, cultivars BRS 511 e BRS 506, on different doses (0,75 L ha<sup>-1</sup> e 1,5 L ha<sup>-1</sup>) and application times (Vegetative 5 e Vegetative 8) of the active principle trinexapac-ethyl, in order to identify the correct dosage and application season that reduces crop lodging, without significant losses in total production and quality of the broth produced. In addition, sought to understand the correlations between the morphological variables. Three trials were carried out in the city of Santa Maria - RS on the crop years of 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021. The analyzed variables were: total broth production (PC), soluble solids content (SS), plant height (ALT), stem diameter (DC), leaf dry matter (MSF), panicle dry matter (MSP), stem dry matter (MSC) and lodging. The data obtained were submitted to the Shapiro-Wilk test, test F and test T de Student with 5% probability, the correlation coefficients between the morphological variables were also estimated through the Pearson correlation. The application of trinexapac-ethyl with the tested dosages reduces the vegetative development of the plants, decreasing lodging and maximizing the soluble solids content of the broth, however it results in a significant drop in the total amount of broth produced, regardless of application season and grow crops. Furthermore, there is significant positive linear correlation of high magnitude among the morphological variables ALT, MSF e MSC.

**Key words:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Ethanol. Lodging. Broth Production.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa com regiões aptas ao cultivo de cana-de-açúcar no RS visando a produção de etanol, por classes de aptidão agrícola e tipos de uso do solo, com base no Zoneamento Agrícola de Risco Climático.....	13
Figura 2 – Rede de avaliação de cultivares do sorgo sacarino (RSSRS) em municípios aptos e não aptos ao cultivo da cana-de-açúcar no RS, entre as safras de 2012/2013 e 2015/2016, visando a produção de etanol.....	14
Figura 3 - Via simplificada de 13-hidroxilação da biossíntese de GA em tecidos vegetativos de ervilha.....	25
Figura 4 – Distribuição dos tratamentos nas faixas de produção para o cultivo em 2018/2019 e 2019/2020.....	29
Figura 5 – Distribuição dos tratamentos nas faixas de produção para o cultivo em 2020/2021.....	31
Figura 6 – Rajada de vento máxima diária nos meses de janeiro, fevereiro e março, nos anos 2018 (a), 2019 (b) e 2020 (c), na cidade de Santa Maria – RS.....	37
Figura 7 – Produção total de caldo de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2018/2019.....	43
Figura 8 – Produção total de caldo de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos testes de verificação da homogeneidade das variâncias...	33
Tabela 2 – Altura média de planta (m) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.....	34
Tabela 3 – Diâmetro médio de colmo por planta (mm) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento....	35
Tabela 4 – Acamamento de plantas (% ha <sup>-1</sup> ) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.....	36
Tabela 5 – Massa seca média de folhas por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento....	39
Tabela 6 – Massa seca média de panícula por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento....	40
Tabela 7 – Massa seca média de colmo por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento....	41
Tabela 8 – Teor de sólidos solúveis (°brix) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.....	42
Tabela 9 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, no ano agrícola 2018/2019 em relação a produção de caldo (L ha <sup>-1</sup> ), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca de folha (g planta <sup>-1</sup> ), massa seca de panícula (g planta <sup>-1</sup> ) e massa seca de colmo (g planta <sup>-1</sup> ), por tratamento...	44
Tabela 10 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, no ano agrícola 2019/2020 em relação a produção de caldo (L ha <sup>-1</sup> ), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca de folha (g planta <sup>-1</sup> ), massa seca de panícula (g planta <sup>-1</sup> ) e massa seca de colmo (g planta <sup>-1</sup> ), por tratamento...	45
Tabela 11 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020, em relação a produção de caldo (L ha <sup>-1</sup> ), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca	

de folha ( $\text{g planta}^{-1}$ ), massa seca de panícula ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e massa seca de colmo ( $\text{g planta}^{-1}$ ).....	46
Tabela 12 - Produção de caldo ( $\text{L ha}^{-1}$ ) e biomassa verde ( $\text{t ha}^{-1}$ ) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, para a BRS 511, no ano agrícola 2020/2021, por tratamento.....	48
Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 511, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020, por tratamento.....	49
Tabela 14 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 506, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020, por tratamento.....	50
Tabela 15 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 511, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2020/2021, por tratamento.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	A CULTURA DO SORGO.....	17
2.2	SORGO SACARINO NA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	20
2.3	REGULADOR DE CRESCIMENTO: TRINEXAPAC-ETHYL .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da urbanização e industrialização mundial amplia a demanda por geração de energia. Nesse cenário, apesar das fontes não renováveis ainda serem mais viáveis financeiramente, a necessidade por diversificação é crucial para um desenvolvimento mais sustentável. A transição da matéria prima de origem fóssil para as fontes renováveis vem ganhando notoriedade, principalmente no que tange a redução da poluição e emissão de gases do efeito estufa.

Essa transição muitas vezes esbarra na parte financeira, por isso é crucial que sejam desenvolvidos planos a longo prazo que viabilizem o processo. Nesse contexto, Paixão e Miranda (2018) relatam que inúmeros países buscam estabelecer acordos em prol da ampliação do uso de fontes de energia mais sustentáveis, visto que muitos desses mostram potencial, tanto natural, quanto de investimentos financeiros e tecnológicos, para o desenvolvimento de programas de geração de energia via fontes renováveis. Os autores ainda citam dados da International Renewable Energy Agency (IRENA) no ano de 2014 onde mostram que o Brasil tem cerca de 7% do potencial global de uso de energias renováveis, tendo assim um cenário favorável para atração de investimentos, além de geração de empregos e desenvolvimento tecnológico.

Essa transição energética, segundo o IRENA (2021), pode proporcionar um crescimento de até 2,4% acima do esperado na economia mundial na próxima década. O projeto “1,5° C” prevê a criação de até 122 milhões de empregos para o setor energético até 2050, sendo que um terço, estima-se para trabalhar com as fontes renováveis, dessa forma potencializando a recuperação econômica a longo prazo na era Pós-Covid.

No Brasil, a Oferta Interna de Energia (OIE), segundo dados do Ministério de Minas e Energia, em 2020, foi de 287,6 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), representando uma queda de 2,2% em relação a 2019, em decorrência da pandemia, já as fontes renováveis não foram muito afetadas, se sustentando com as altas em produtos da cana, eólica, solar e de biodiesel. As fontes renováveis representaram 48,4% na matriz energética

nacional, ficando acima da média mundial que é 14,9%. No ano de 2020 observou-se um aumento na participação das fontes renováveis, destacando 0,5 pontos percentuais em etanol e bagaço e 0,2 em biodiesel, em relação a 2019 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Visando reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, segundo Kohlhepp, (2010), na década de 70 o Brasil iniciou o Pró-Álcool, programa nacional que objetivou a substituição dos carros movidos a gasolina pelos movidos a álcool, devido à crise nacional do petróleo, através de créditos mais acessíveis para investimentos na produção da cana-de-açúcar. Além de programas como esse, o autor afirma que o país apresenta condições favoráveis para a produção de biocombustíveis, dando potencial para uma consolidação como líder mundial na produção de etanol.

O Estado do Rio Grande do Sul não é autossuficiente na produção de etanol, necessitando de importação para o suprimento da demanda. Buscando diminuir essa dependência foi aprovado o Programa Estadual de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Etanol (Pró-Etanol) que tem como princípios proporcionar incentivos fiscais e creditícios para a cadeia produtiva, bem como incentivar os estudos através do envolvimento das universidades e centros de pesquisa no processo (GAMARRA, 2021).

A principal matéria prima para produção de etanol é a cana-de-açúcar. Segundo Emygdio et al (2016a) o Estado Rio Grande do Sul apresenta uma faixa importante com aptidão agrícola para seu desenvolvimento (Figura 1). Entretanto, a dependência desse produto é um dos principais fatores que torna a produção pouco sustentável, visto que a cana-de-açúcar apresenta uma entressafra de cerca de 5 meses, deixando uma lacuna nas usinas e resultando em queda na receita.

Nesse contexto, diversas culturas como o milho, beterraba, batata doce e o sorgo sacarino surgem como alternativa para complementar a produção de etanol e também suprir a lacuna da entressafra canavieira. May et al., (2012a) afirmam que o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é capaz de produzir matéria prima para as usinas e reduzir a instabilidade da entressafra nacional da

cana-de-açúcar, uma vez que ele é produzido no verão, sendo assim uma alternativa bastante viável.

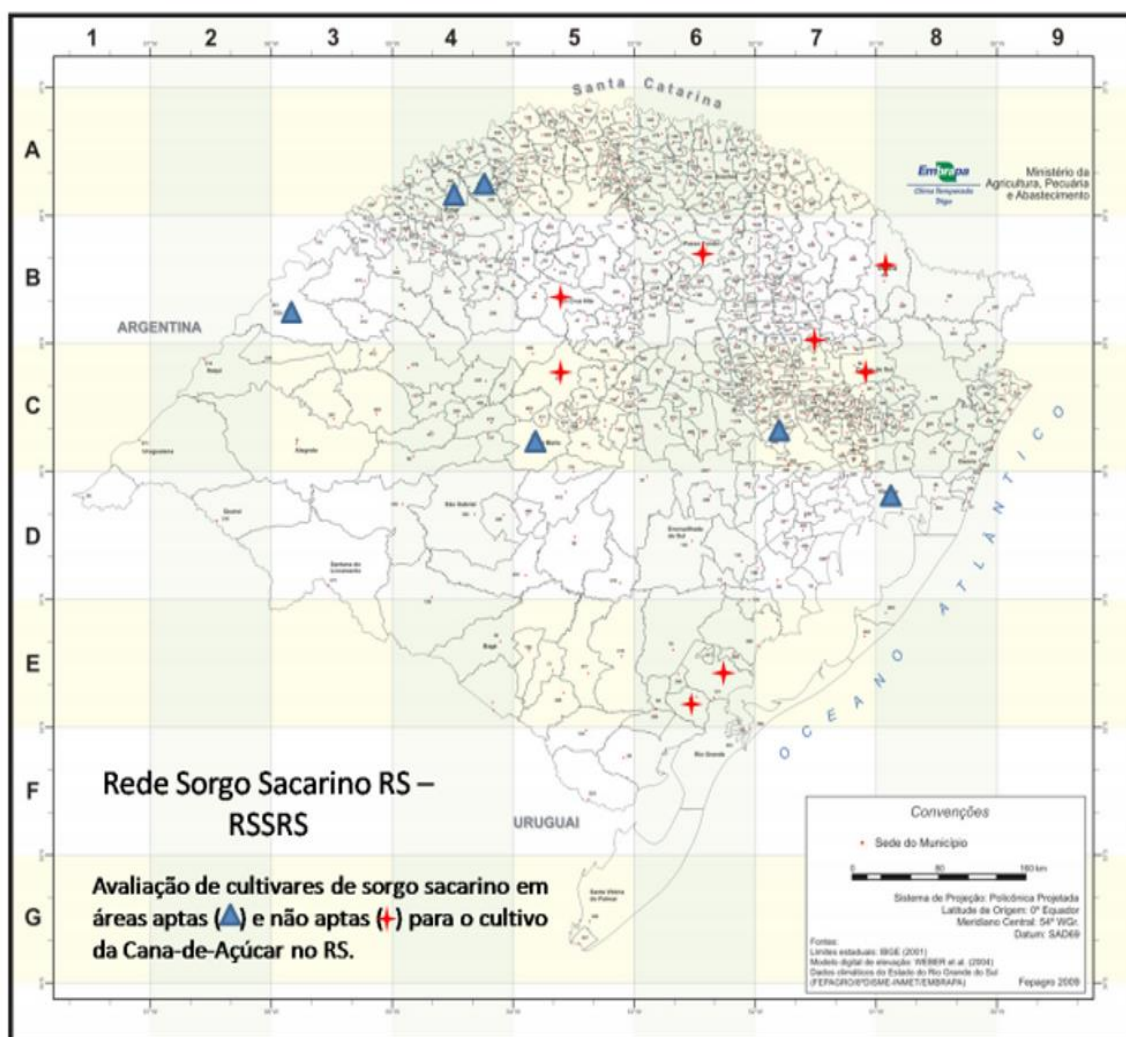
Figura 1 – Mapa com regiões aptas ao cultivo de cana-de-açúcar no RS visando a produção de etanol, por classes de aptidão agrícola e tipos de uso do solo, com base no Zoneamento Agrícola de Risco Climático.



Fonte: (Adaptado de Emygdio et al., 2016a)

Diversas cultivares de sorgo sacarino foram avaliadas por Emygdio et al., (2016a) nas zonas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar e nas zonas consideradas não aptas ou marginais (Figura 2), concluindo que a BRS 511 e a BRS 506 apresentam potenciais satisfatórios de produtividade de biomassa e teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ brix), sendo superior a 14,25%, que corresponde ao valor mínimo preconizado para produção de etanol, o que potencializa o desenvolvimento do sorgo sacarino tanto nas zonas aptas quanto nas não aptas ao cultivo da cana-de-açúcar.

Figura 2 – Rede de Avaliação de Cultivares do Sorgo Sacarino (RSSRS) em municípios aptos e não aptos ao cultivo da cana-de-açúcar no RS, entre as safras de 2012/2013 e 2015/2016, visando a produção de etanol.



Fonte: (Adaptado de Emygdio et al., 2016a)



Além de preencher a lacuna da entressafra e se adaptar a zonas marginais do cultivo da cana-de-açúcar, o sorgo sacarino tem inúmeros fatores que impulsionam a sua utilização na produção de etanol. A planta apresenta colmos ricos em açúcares fermentescíveis, assim como a cana-de-açúcar, podendo aproveitar as mesmas instalações da usina, apenas com pequenos ajustes no processo fermentativo. Ademais, o ciclo de aproximadamente quatro meses é considerado curto, apresenta possibilidade de mecanização total da lavoura, tem alta produtividade de biomassa verde com elevado rendimento de etanol (3.000 a 6.000 L ha<sup>-1</sup>) e ainda permite a possibilidade de utilização do bagaço na cogeração de eletricidade, acrescentando virtudes a cultura (DURÃES, 2011).

Dentre as vantagens, destaca-se também a adaptabilidade a ambientes de estresse como déficit hídrico e baixa fertilidade de solos, porém quando recebe suprimento de água e adubação adequada, o sorgo sacarino pode apresentar elevado desenvolvimento, aumentando a altura de planta e produção de biomassa, potencializando sua produtividade (EMBRAPA, 2012a).

O crescimento vegetativo vigoroso, entretanto, pode ser um empecilho para a produção, uma vez que tende a deixar os colmos mais finos e mais suscetíveis ao acamamento (MAY et al., 2012a). Plantas acamadas representam dificuldades na colheita e possível redução na produção, sendo um dos principais problemas a serem controlados na cultura. Freitas et al., (2011) afirmam que a produtividade e a qualidade dos grãos do sorgo podem ser afetadas pelo acamamento, pois interfere no acúmulo de matéria seca e dificulta a colheita mecanizada.

A fim de minimizar esse problema, o uso de redutores de crescimento vem ganhando espaço como uma alternativa promissora, por atuar na redução do porte de algumas plantas e, ainda, apresentar função de maturador fisiológico, potencializando assim, as características tecnológicas para produção de etanol com a cultura do sorgo sacarino. Nesse cenário, o princípio ativo trinexapac-ethyl surge como uma alternativa, atuando na redução dos níveis de giberelina ativa, hormônio vegetal responsável pelo alongamento dos entrenós. Segundo Shepard e DiPaula (2000) esse princípio ativo se destaca em relação a outros,

pois não inibe a fotossíntese das plantas, uma vez que não impede a produção de algumas giberelinas importantes.

Diante disso, o objetivo do presente estudo é avaliar as respostas na qualidade e na produção total de caldo do sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e BRS 506, em diferentes doses e épocas de aplicação do trinexapac-ethyl, bem como identificar a dosagem e época correta de aplicação que reduza o acamamento de plantas, sem perdas significativas na produção total e na qualidade do caldo produzido. Além disso, busca-se compreender o comportamento e as correlações entre as variáveis morfológicas nas dosagens, épocas e cultivares.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A CULTURA DO SORGO

A cultura do sorgo surgiu a mais de 5 mil anos na África, entretanto, no Brasil, seu desenvolvimento ganhou notoriedade no início dos anos 70, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia e Paraná (ROSA, 2012).

Diversos fatores permitem a expansão da cultura no país. Segundo a Embrapa (2012a) isso se dá, boa parte, devido ao alto potencial de produção de grãos e matéria seca, que pode ser uma boa alternativa para a alimentação animal, e também pela capacidade de adaptação ambiental, tornando viável a produção em áreas de déficit hídrico e baixa fertilidade do solo. Amaral et al., (2003) apontaram resistência a seca para 11 linhagens de sorgo forrageiro. Enquanto Buso et al., (2011) afirmam que a silagem de milho pode ser substituída pela de sorgo sem perdas na produtividade dos animais.

Outro fator que potencializa o desenvolvimento da cultura do sorgo é a viabilidade na produção de etanol, como alternativa a cana-de-açúcar, que hoje é a principal matéria prima. Segundo Durães (2011) a planta apresenta caldo rico em açúcares fermentescíveis, que podem ser processados dentro das mesmas instalações da cana-de-açúcar, não demandando grandes alterações dentro da usina durante o processo fermentativo, além disso o sorgo pode ser cultivado de forma complementar, entrando como rotação na entressafra.

Agronomicamente, o sorgo pode ser dividido em 4 grupos, sendo eles, granífero, sacarino, forrageiro e vassoura. O primeiro é composto por plantas de porte baixo, dificilmente superior a 1,70m, onde o principal produto é o grão (VIANA, 2019). O segundo, por plantas maiores, com altura superior a 2,00m, e são característicos para a produção de silagem, açúcar e álcool (DURÃES, 2011). O sorgo forrageiro também tem o porte elevado e é utilizado como pastejo, complemento alimentar ao gado, fenação e cobertura morta, principalmente pela elevada produção de massa verde (MIRANDA; PEREIRA,

2003). O tipo vassoura tem seu principal produto na panícula, que precisa apresentar fibras longas e resistentes para sua utilização na confecção comercial de vassouras (SAWAZAKI; FREITAS, 2018).

O sorgo é uma planta autógama, de dias curtos, com metabolismo C4, taxa fotossintética alta, baixa taxa de fecundação cruzada, colmo ereto, folhas alternadas compostas por bainha e lamina foliar que tem origem nos nós individuais e inflorescência do tipo panícula (EMBRAPA 2012a). O autor afirma ainda que o desenvolvimento ao longo do ciclo pode ser dividido em três fases. A primeira vai da semeadura até a iniciação da panícula e é o período mais sensível a competição com plantas daninhas, devido ao seu crescimento inicial lento. A segunda fase vai da iniciação da panícula até o florescimento, nessa fase, os processos de crescimento, quando afetados, podem comprometer o rendimento da planta. A terceira fase vai do florescimento à maturação fisiológica dos grãos, onde os fatores que influenciam o enchimento de grão são os mais importantes.

O sorgo apresenta um sistema radicular profundo que permite a busca por água, corroborando para a melhor adaptação a ambientes de estresse hídrico. São encontradas raízes primárias pouco ramificadas e que morrem com o surgimento das raízes secundárias, essas que se desenvolvem no primeiro nó, apresentando mais ramificações e assim formando o sistema radicular principal, além disso, podem aparecer as chamadas raízes adventícias, que tem função de suporte em situações de estresse (EMBRAPA 2012a). Segundo Rosa (2012) solos com maior porosidade são considerados os melhores para o sorgo por permitir um melhor desenvolvimento radicular.

Considerado tolerante à altas temperaturas, a faixa ótima de desenvolvimento da cultura do sorgo se encontra entre 26 e 30° C. Médias diárias abaixo dos 18° C podem prejudicar o desenvolvimento das plantas (ROSA, 2012). Entretanto, esse limite inferior pode variar conforme a cultivar. Bandeira et al., (2016a) ao trabalhar com diferentes cultivares de sorgo sacarino encontraram variações na temperatura base, obtendo os valores de 11,6° C para a cultivar Fepagro 19, 11,8° C para a BRS 506, 8,9° C para a BRS 509 e 10,8° C para a BRS 511.

O número de folhas varia entre 7 e 30, podendo alcançar até mais 1m de comprimento e 15cm de largura, tanto o número quanto o tamanho, dependem da cultivar, do fotoperíodo e da temperatura (EMBRAPA 2012a). Os autores ainda mencionam que quando as folhas se desenvolvem em altas intensidades de luz, o número de células é maior em comparação ao desenvolvimento em baixas intensidades luminosas.

A escolha da época de semeadura, segundo May et al., (2012a), influencia diretamente no rendimento da cultura, os autores recomendam que a tomada de decisão sobre o melhor período de implantação seja de acordo com os fatores de riscos locais. Emygdio et al. (2016b) avaliaram o cultivar de sorgo sacarino BRS 511 na metade sul do estado do Rio Grande do Sul, concluindo que a melhor época de semeadura fica entre outubro e início de novembro, eles também afirmam que se a cultura for implantada após esse período, pode ter as variáveis agrônômicas e industriais associadas a produção de etanol afetadas negativamente, inviabilizando economicamente o cultivo.

Além da época correta de semeadura, ajustar o espaçamento entre linhas e densidade são fatores relevantes para maximizar a produção. Oliveira et al., (2019) observaram que na região Oeste do Mato Grosso do Sul, o espaçamento entre linhas de 60cm e uma população de plantas entre 150.00 e 200.000 plantas ha<sup>-1</sup> apresentam melhor produção de matéria verde e seca, com sólidos solúveis de boa qualidade. Emygdio (2011), observou na cidade de Pelotas – RS, que a BRS 506 apresenta maior produção de colmos, chegando a 70 t ha<sup>-1</sup>, no espaçamento entre linhas de 50cm, independentemente da população de plantas, enquanto com plantas espaçadas a 70cm a produtividade de colmos caiu para 48 t ha<sup>-1</sup>. As diferenças entre os dois trabalhos supracitados mostram que a localidade é relevante no momento de definir o arranjo espacial das plantas.

A proximidade das plantas nas altas densidades interfere na captação da luminosidade, aumentando o sombreamento e, conseqüentemente, reduzindo a taxa fotossintética, afetando a produção de fotoassimilados, podendo reduzir o desenvolvimento individual das plantas. Entretanto, como mostrou o trabalho de Benedetti et al., (2015), o sorgo é bastante responsivo a condições favoráveis, dessa forma, mesmo em altas densidades, se o fornecimento de nutrientes e

água for elevado, a produtividade por unidade de área pode ser maximizada. Segundo Snider; Raper e Schwab (2012), populações de 116.000 plantas por hectare podem promover alterações morfológicas como afinamento do caule e maior crescimento, aumentando a sensibilidade ao acamamento.

Nesse contexto, Terra et. al., (2010) perceberam que a produção de matéria seca de folhas, colmo, panícula e total por planta estão diretamente relacionadas com a densidade de semeadura, tendo uma relação inversamente proporcional, ou seja, as menores densidades apresentaram maiores produções de matéria seca por planta. O perfilhamento da cultura do sorgo sacarino também está relacionado com a densidade. Segundo Moura et al., (2014) o aumento da densidade de plantas por hectare, proporciona redução no perfilhamento da cultura.

O acamamento é um problema frequente na cultura do sorgo sacarino, e essa característica está relacionada a genética de cada híbrido, porém o ambiente e o manejo podem controlar ou potencializar esse atributo. Além dos problemas relacionados ao manejo, o acamamento também pode influenciar na qualidade e produtividade da cultura. Freitas et al., (2011) afirmam que a produtividade e a qualidade dos grãos do sorgo podem ser afetadas pelo acamamento, pois interfere no acúmulo de matéria seca e dificulta a colheita. Os autores recomendam que a cultura seja colhida o mais rápido possível de modo a diminuir as chances de acamamento.

## 2.2 SORGO SACARINO NA PRODUÇÃO DE ETANOL

A demanda pela produção de energia através de fontes renováveis, menos poluente, em detrimento a combustíveis fósseis, vem ganhando notoriedade a cada ano. Nesse cenário, as grandes potências mundiais aumentaram os investimentos para consolidar essa demanda. Paixão e Miranda (2018) fizeram um comparativo entre o Brasil e a China destacando que ambos acentuaram, principalmente nas últimas três décadas, suas políticas de incentivo às energias renováveis, os autores ainda pontuam que no Brasil, além da

produção de energia elétrica, essas fontes também são utilizadas para combustíveis automotivos como etanol e biodiesel.

No Brasil, a principal fonte de produção de etanol é a cana-de-açúcar. Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apontam uma produção de aproximadamente 32 bilhões de litros de etanol advindos dessa fonte na safra 2020/2021, número que representa uma quebra de mais de 3 bilhões de litros em relação à safra 2019/2020 (MAPA, 2021). Esses dados reforçam a necessidade na busca por fontes alternativas para maximizar a produção de etanol.

Na busca por diversificar as fontes renováveis o sorgo sacarino vem ganhando notoriedade, a cultura é apontada como uma opção à cana-de-açúcar na produção de etanol, principalmente para aquelas localidades onde as condições são desfavoráveis ao cultivo da cana, pois segundo Durães (2011) o sorgo é tolerante ao déficit hídrico, tem ciclo curto e permite mecanização total da lavoura. Além disso, o autor pondera um alto potencial na produção de biomassa, chegando até  $80 \text{ t ha}^{-1}$ , também é destacado que o sorgo apresenta caldo semelhante ao da cana-de-açúcar, sendo rico em açúcares fermentescíveis possibilitando uma produção entre 3.000 e 6.000 L de etanol  $\text{ha}^{-1}$  e que o bagaço pode ser utilizado na cogeração de eletricidade. May et al., (2012a) afirmam que é possível produzir cerca de 75 litros de álcool por tonelada de biomassa, superando a marca de 4000 litros por hectare.

O sorgo sacarino ainda pode atuar como fonte complementar à cana-de-açúcar na produção de etanol, entrando na sua entressafra. Masson et al., 2015 salientam que apesar da cana-de-açúcar apresentar teores de brix, pH e açúcares redutores totais mais adequados para o processamento industrial de bioetanol, o sorgo sacarino pode ser considerado potencialmente satisfatório para o processamento de bioetanol no mês de abril, permitindo assim uma redução da ociosidade das usinas na entressafra canavieira.

Dentre os fatores que impulsionam a cultura do sorgo sacarino estão os avanços tecnológicos. Segundo Cunha e Severo Filho (2010), a tecnologia da fermentação, conservação celulótica e conversão química de carboidratos vem melhorando ao longo dos anos. Além disso, os autores destacam que a cultura,

por ter ciclo curto e ficar pouco tempo no campo ocupando a área de produção, permite aumento na geração de renda para o setor primário.

O sorgo sacarino, segundo Albuquerque et al., (2012), permite a produção de etanol de primeira e segunda geração. O caldo, através do processo fermentativo, é utilizado como matéria prima para a primeira geração, enquanto a segunda geração é realizada com as fibras do bagaço que sofrem hidrólise enzimática, transformando a celulose em açúcares fermentáveis. Os autores ainda estudaram arranjos de plantas e localidades de cultivo em Minas Gerais, afirmando que a localidade afeta a produtividade tanto da matéria verde quanto da massa do caldo e teor de sólidos solúveis. Eles ainda destacaram que a redução do espaçamento provoca maior produtividade de massa fresca e caldo em função do local, porém reduz os °brix.

As condições ambientais têm influência no desempenho produtivo da cultura do sorgo sacarino, demandando estudos regionais a fim de compreender a interação genótipo ambiente em cada localidade (EMYGDIO, 2018). Cavalcante et al., (2017) avaliaram características agrônômicas de diferentes cultivares de sorgo sacarino na região sudoeste de Goiás, a fim de averiguar as respostas da planta em diferentes épocas de plantio, os autores afirmam que a cultivar CB7300, quando cultivada em outubro, novembro e dezembro pode ser utilizada na região.

Ao analisar variáveis morfológicas e de produção em cultivares de sorgo sacarino na região de Humaitá – AM, Nascimento et al., (2017) concluíram que as cultivares BRS 501, BRS 506 e Wray foram promissoras tanto para a produção de etanol quanto para alimentação animal, visto que apresentam ótimo desempenho na concentração de sólidos solúveis totais e também elevada produção de massa verde. Oliveira et al., (2021) avaliaram o potencial agrônômico de 25 genótipos de sorgo sacarino no município de Cáceres – MT, constatando que os genótipos CMSXS642, CMSXS646 e CMSXS647 foram os mais prósperos para a produção de etanol.

Na cidade de Santa Maria – RS, Biondo et al., (2019) avaliaram a qualidade do caldo através dos parâmetros sacarose, açúcares redutores, pureza, sólidos solúveis totais, açúcar total recuperável, fibra e rendimento de



etanol, além da maturação para conhecer o período de utilização industrial (PUI) de onze genótipos de sorgo sacarino. Eles inferem que os genótipos BRS 506, BRS 511 e CV198 apresentam um PUI de mais de 30 dias, fator importante na disponibilidade de matéria para as usinas, os mesmos ainda notaram que a BRS 506 e a BRS 511 tem as melhores características para a produção de etanol na localidade.

A produção de etanol na usina é baseada em parâmetros de qualidade como teor de sólidos solúveis (°brix), sacarose (Pol do caldo), fibra, pureza do caldo, pH e porcentagem bruta de açúcar. Durães (2011) afirma que o sorgo é rico em açúcares simples como sacarose, glicose e frutose os quais são diretamente fermentáveis na produção de etanol.

Com base nos estudos supracitados é possível perceber que as cultivares BRS 506 e BRS 511 tem ampla recomendação para a produção de etanol no estado do Rio Grande do Sul. Segundo a Embrapa (2012b), a cultivar BRS 506 foi desenvolvida para atender a demanda por matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para produção de etanol, dentro das suas especificações, estima-se que o caldo extraído dos colmos apresente cerca de 172,5 g L<sup>-1</sup> de açúcares redutores totais (ART), 108,60 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 44,5 g L<sup>-1</sup> de glicose e 19,5 g L<sup>-1</sup> de frutose, podendo apresentar até 20,9 °brix. Já a cultivar BRS 511, segundo a Embrapa (2012c) foi desenvolvida pelo melhoramento genético na busca por uma maximização da produção, estima-se que a produtividade de colmos pode alcançar 80 t ha<sup>-1</sup> e que a composição do caldo pode apresentar até 194 g L<sup>-1</sup> de ART, 154,8 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 33,3 g L<sup>-1</sup> de glicose e 5,9 g L<sup>-1</sup> de frutose e atingindo cerca de 21,9 °brix.

Os valores apresentados pelos autores supracitados estão sujeitos a alterações conforme a localidade de cultivo. May et al., (2012a) encontraram, em Sete Lagoas – MG, 72,13 kg de ATR por tonelada de biomassa, atingindo uma produção total de 2.062,35 litros de etanol por hectare, para a cultivar BRS 506, valores menores em relação a cultivar BRS 511 que apresentou 106,45 kg de ATR por hectare, chegando a produzir 4.352,51 litros de etanol por hectare. Ao destacar a superioridade produtiva, os autores alertam para o elevado porte da BRS 511 que pode chegar até a 4m de altura, dificultando a colheita mecanizada,

consequentemente restringindo a obtenção de grandes quantidades de semente.

### 2.3 REDUTOR DE CRESCIMENTO: TRINEXAPAC-ETHYL

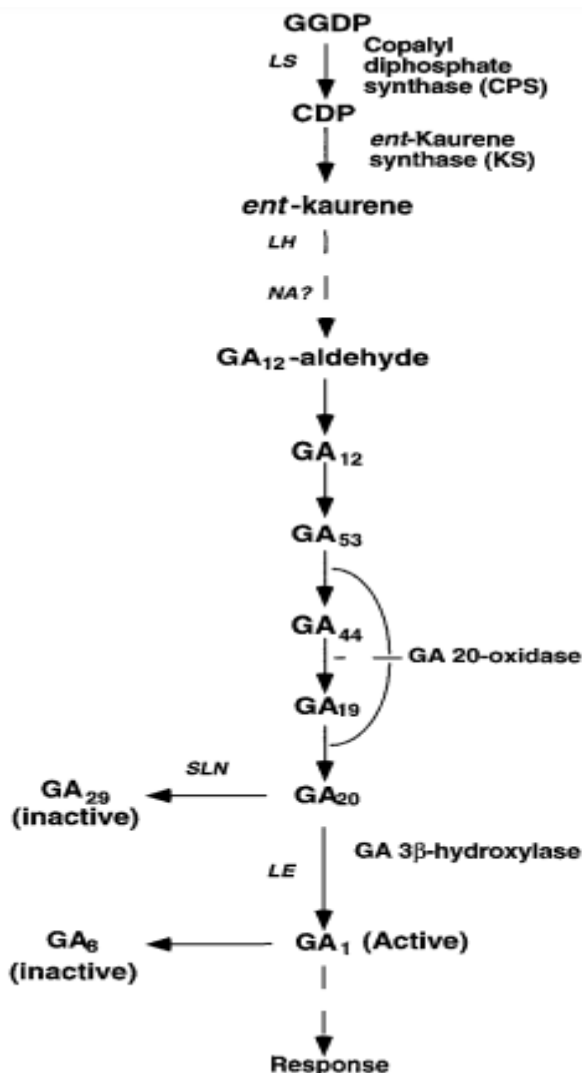
O uso de redutores de crescimento tem ganhado espaço como uma alternativa promissora na redução do porte de algumas plantas, atuando no controle do crescimento longitudinal dos entrenós e, ainda, tendo funções como maturador fisiológico potencializando as características tecnológicas para produção de etanol na cultura do sorgo sacarino (MAY et al., 2013a; VIANA et al., 2015; VIANA et al., 2017).

O princípio ativo trinexapac-ethyl ao ser absorvido pela planta atua de forma seletiva, reduzindo os níveis de giberelina ativa, induzindo a uma inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento da planta. Entretanto esta atuação não afeta o processo fotossintético nem a integridade da gema apical (MODDUS, 2020).

A giberelina (GAs) é um hormônio vegetal que pode ser encontrado em diversos locais da planta como raízes, folhas jovens, sementes e frutos. Existem inúmeras giberelinas descobertas, entretanto as principais com função biológica são as GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub>. Elas estão ligadas ao crescimento vegetal através do alongamento do caule e das folhas, desenvolvimento dos frutos, floração, retardo da senescência e germinação (TAIZ; ZEIGER, 2010).

No processo de síntese bioquímica da giberelina, o trinexapac-ethyl atua a partir do GA<sub>12</sub>-aldeído, inibindo a formação de giberelinas de alta eficiência biológica como a GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> entre outras. Observando a figura 3 é possível perceber que a GA<sub>20</sub> – oxidase é a enzima catalisadora da oxidação sequencial de GA<sub>53</sub> para GA<sub>20</sub>, esse produto é hidroxilado pela enzima GA<sub>20</sub> 3β-hydroxilase para produção da giberelina ativa GA<sub>1</sub>. O princípio ativo trinexapac-ethyl está relacionado com a inativação da enzima GA<sub>20</sub> 3β-hydroxilase, reduzindo assim a produção de GA<sub>1</sub> (AIT-ALI et. al., 1999).

Figura 3 - Via simplificada de 13-hidroilação da biossíntese de GA em tecidos vegetativos de ervilha.



Fonte: (Adaptado de AIT-ALI et. al., 1999)

Com a redução da produção de giberelinas ativas, segundo Taiz e Zeiger (2010) a planta passa a sintetizar e acumular giberelinas menos eficientes biologicamente, como as GA<sub>8</sub>, GA<sub>17</sub> e GA<sub>19</sub>, que acarreta, na prática, em plantas menores, com entrenós reduzidos, porém sem deformação morfológica dos colmos. Shepard e DiPaola (2000) afirmam que o diferencial do trinexapac-ethyl para os demais redutores de crescimento vegetal como o ethephon, grupo químico etileno, é que ele não inibe a fotossíntese das plantas, uma vez que ele não inibe a síntese de algumas giberelinas importantes, enquanto o ethephon

interfere precocemente na biossíntese da giberelina e acaba por paralisar a sua produção.

Com base nessa virtude, o princípio ativo trinexapac-ethyl é utilizado em diversas culturas como o trigo, onde Chavarria et al., (2015) avaliaram a influência do princípio ativo sobre o desenvolvimento vegetativo, componentes da produção e qualidade de grãos nas cultivares Mirante e Quartzo, em relação a suscetibilidade ao acamamento. Eles concluíram que o redutor de crescimento aumenta a relação entre raiz e parte aérea na cultivar Mirante e a produtividade em ambos, entretanto, não apresenta interferência na qualidade dos grãos.

Para a cultura do milho, Fagherazzi et al., (2018) analisaram a aplicação sequencial de diferentes dosagens de trinexapac-ethyl em diferentes estádios fenológicos da planta. Os pesquisadores visualizaram uma redução na altura das plantas, altura da espiga e produtividade biológica nas aplicações sequenciais, ainda afirmaram que no estágio vegetativo 6, as plantas de milho são altamente sensíveis ao redutor de crescimento.

Visando melhorar o manejo da cana-de-açúcar, Faria et al., (2014) estudaram os efeitos do trinexapac-ethyl sobre as características fisiológicas da planta em diferentes épocas de aplicação. Os autores perceberam que uma única aplicação, aos 120 dias após a brotação das gemas (DAB), ou sequencial aos 120, 200 e 240 DAB, permitem um incremento no consumo de CO<sup>2</sup>, condutância estomática, taxa transpiratória e taxa fotossintética, trazendo benefícios agrônômicos a cultura. Lima et al., (2019) afirmam que o número de colmos, massa de colmos, comprimento dos entrenós e produtividade de colmos são dependentes do genótipo quando submetidas a aplicação do redutor.

Para melhor entender os efeitos do trinexapac-ethyl na cultura do sorgo sacarino diversos estudos foram realizados nos últimos anos. A fim de compreender a relação do desenvolvimento da planta e a germinação das sementes, May et al., (2013a) avaliaram diferentes doses e épocas de aplicação de diferentes redutores de crescimento, concluindo que o trinexapac-ethyl foi efetivo na redução do desenvolvimento vegetativo, atuando no controle do porte, em contrapartida, constataram que doses elevadas podem inviabilizar totalmente a germinação das sementes. Com base nisso, para controle do acamamento,

redução do porte, manutenção de altas produtividades de biomassa e viabilidade germinativa das sementes, os autores recomendam a aplicação de doses inferiores a  $750 \text{ ml ha}^{-1}$ .

Em contrapartida, Silva et al., (2018) testaram três dosagens do redutor sobre os cultivares BRS 508 e BRS 509. Eles observaram pouca influência do trinexapac-ethyl sobre as características morfológicas diâmetro de caule, altura de planta e número de folhas. Entretanto, salientaram que o diâmetro de caule divergiu em algumas plantas, sugerindo que o aumento da concentração do produto pode prejudicar o desenvolvimento do diâmetro na cultivar BRS 508, especulando que possa existir uma concentração ótima para uso do redutor.

Ao avaliarem as qualidades tecnológicas pureza do caldo, açúcares redutores, açúcares redutores totais, °brix, pol do caldo, açúcares teóricos recuperáveis e fibra do sorgo sacarino cultivar Biomatrix 535, em diferentes doses de fitorreguladores químicos, Viana et al., (2015) concluíram que nas dosagens de  $0,20$ ,  $0,40$  e  $0,80 \text{ L ha}^{-1}$  o trinexapac-ethyl possibilita um incremento tecnológico das variáveis estudadas. As avaliações ocorreram em quatro épocas distintas durante o ciclo, sendo elas 15, 22, 37 e 44 dias após aplicação do produto, e com base nisso os autores afirmam que o incremento tecnológico não é influenciado pela época de colheita.

Ainda buscando melhor entendimento desses parâmetros tecnológicos, Viana et al., (2017) também encontraram ganhos de qualidade para a cultivar BRS 509, em relação as variáveis teor de sólidos solúveis, teor de sacarose, açúcares redutores, açúcares redutores totais, fibra, pureza e açúcar total recuperável, com aplicações de  $0,8 \text{ L ha}^{-1}$  de trinexapac-ethyl.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três ensaios na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (29°43'28"S, 53°43'18"W, altitude 95 m), nos anos agrícolas ou safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente. O clima característico da região segundo Alvares et al., (2013) é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verão quente e sem estação seca definida. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

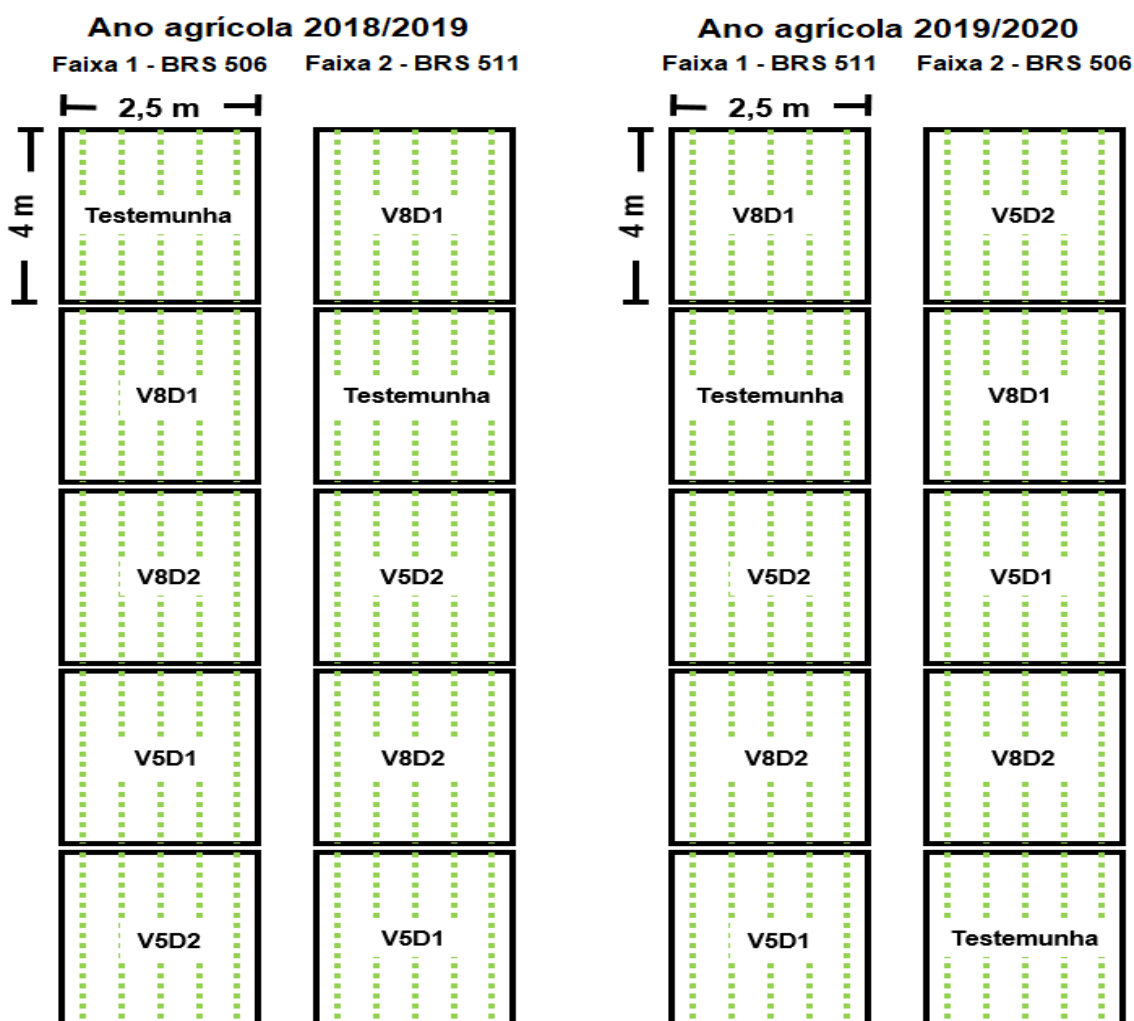
A semeadura foi realizada manualmente no mês de novembro, em linhas, na profundidade de 0,02 – 0,03 m, em todos os anos. As parcelas foram estruturadas com 2,5 m de largura por 4,0 m de comprimento, contendo 5 linhas de cultivo espaçadas a 50 cm. A adubação foi realizada de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004) sendo aplicados 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, formulação 5-20-20, mais 25 kg ha<sup>-1</sup> de ureia 45% no momento da semeadura e 50 kg ha<sup>-1</sup> de ureia 45% em cobertura, 30 dias após a emergência.

Após a emergência das plantulas foi feito um desbaste a fim de obter uma população de 140.000 plantas por hectare. O controle de plantas daninhas foi realizado com capinas manuais ao longo do ciclo, de modo a manter a cultura livre de infestações. O manejo de insetos, principalmente da lagarta-do-cartucho, nos três anos agrícolas, foi realizado através da aplicação de inseticidas dos grupos químicos teflubenzuron, neonicotinoide e piretroide.

Nos dois primeiros anos agrícolas, cada ensaio foi constituído por duas cultivares, a BRS 511 e a BRS 506. O redutor de crescimento, princípio ativo trinexapac-ethyl, foi testado em duas doses, 0,75 e 1,5 L ha<sup>-1</sup> (D1 e D2, respectivamente) e em duas épocas de aplicação, sendo elas o estágio vegetativo com cinco e oito folhas (V5 e V8, respectivamente), ainda foram conduzidas duas testemunhas (TEST), sem aplicação do produto, uma para cada cultivar, totalizando cinco tratamentos para cada cultivar (TEST, V5D1, V5D2, V8D1 e V8D2), os quais foram dispostos em faixas, no sentido norte-sul,

onde cada faixa recebeu um dos cultivares, totalizando dez parcelas em cada época de cultivo. A distribuição das parcelas foi feita respeitando o princípio da casualização, sendo ela aleatória para não favorecer nenhum dos tratamentos, conforme mostra a figura 4. A aplicação do trinexapac-ethyl foi realizada através de pulverizador manual de 2 litros, com de 200 L ha<sup>-1</sup> de volume de calda.

Figura 4 – Distribuição dos tratamentos nas faixas de produção para o cultivo em 2018/2019 e 2019/2020.



Nesses dois primeiros anos agrícolas, as variáveis de produção avaliadas foram a quantidade total de caldo produzido, obtido através da moagem simples do colmo das sete plantas centrais da fileira interior da parcela, cortadas rente ao solo, com valores transformados para L ha<sup>-1</sup> via regra de três, com base na

população de 140.000 plantas por hectare, e qualidade do caldo, representada pelo teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ brix), que foi medido com refratômetro digital, através de amostra simples do caldo obtido da moagem. Também foram estudados os parâmetros morfológicos de altura de planta (ALT) em metros, medida do solo até o ápice da panícula, com fita métrica, e diâmetro do colmo (DC) em centímetros, medido na parte central do terceiro entrenó, com utilização de paquímetro universal e depois convertido para milímetros, a fim de melhor apresentar os resultados. Além disso, foi quantificado o percentual de acamamento de cada parcela, considerando-se planta acamada aquela que estava inclinada com a panícula a uma altura inferior a 50 cm do solo, bem como plantas com o colmo quebrado.

As avaliações das variáveis morfológicas no primeiro ano agrícola, foram realizadas em três plantas escolhidas ao aleatório, dentro das três fileiras centrais da parcela, essas plantas ainda foram separadas e tiveram suas folhas, panículas e colmos levados para estufa de secagem à 60° C, onde ficaram por dez dias, assim se obtendo a massa seca de folha (MSF), massa seca de panícula (MSP) e massa seca de colmo (MSC), em gramas, com auxílio de balança digital eletrônica. Já no segundo ano agrícola, optou-se por aumentar o número de plantas avaliadas, subindo de três para dez, a fim de trazer melhor confiabilidade aos dados obtidos.

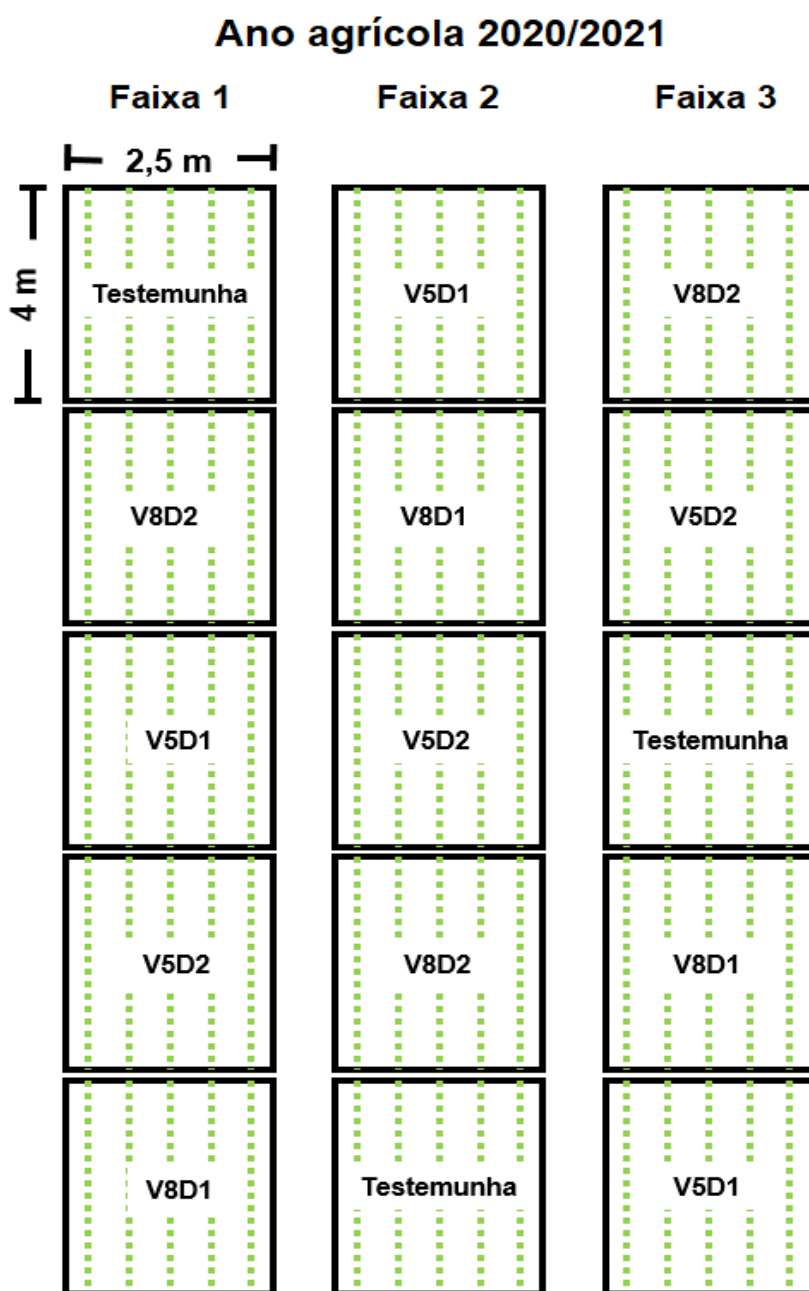
No primeiro ano agrícola ocorreu a morte completa das plantas nas parcelas submetidas a aplicação do trinexapac-ethyl em V5, independentemente da dose. A causa não foi identificada, entretanto cogita-se a ocorrência de contaminação de tanque, devido a isso, nesse ensaio, as avaliações ocorreram apenas na testemunha e nas duas doses aplicadas em V8.

O terceiro ensaio foi realizado apenas com a cultivar BRS 511. Nesse experimento, manteve-se o arranjo espacial dos anos anteriores, porém, dessa vez, foi utilizado o delineamento blocos ao acaso com três repetições, totalizando três faixas de cultivo, onde cada uma configurava um bloco, recebendo uma repetição de cada tratamento, conforme a figura 5. As avaliações morfológicas de ALT e DC foram realizadas em cinco plantas escolhidas ao aleatório nas fileiras centrais, e todas as plantas foram submetidas a secagem para obtenção dos valores de MSF, MSP e MSC. Além disso, nesse ensaio, foi acrescentada a



avaliação da variável produtiva biomassa verde, estimada através da pesagem da parte aérea das sete plantas centrais da fileira interior da parcela, com valores transformados para  $t\ ha^{-1}$  via regra de três, com base na população de 140.000 plantas por hectare, posteriormente, os colmos foram destinados para moagem e avaliação da produção total de caldo e teor de sólidos solúveis.

Figura 5 – Distribuição dos tratamentos nas faixas de produção para o cultivo em 2020/2021.



Nos três anos agrícolas as avaliações de produção total de caldo, teor de sólidos solúveis, ALT e DC foram realizadas no momento da colheita, que foi realizada com cerca de 120 dias de cultivo, ciclo estimado para a cultura do sorgo sacarino.

Para análise dos resultados, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, a fim de averiguar sua aderência a distribuição normal. Além disso, foi verificada a homogeneidade das variâncias através do teste F, onde foram analisadas todas as comparações entre os tratamentos, dois a dois, para a BRS 511 e para a BRS 506, em relação as variáveis ALT, DC, MSF, MSP e MSC nos três anos agrícolas, e também para produção total de caldo, biomassa verde e teor de sólidos solúveis da BRS 511, em 2020/2021.

Após verificar a normalidade e homogeneidade das variâncias, foi realizado o teste T de Student (5% de significância) para amostras independentes, comparando as médias de duas a duas, em todos os cenários supracitados, a fim de observar se existem diferenças significativas entre os tratamentos, ou seja, se as dosagens e épocas de aplicação tem influência nos parâmetros estudados.

Além disso, nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020, foi realizado o teste T de Student (5% de significância) entre as cultivares para comparar o comportamento das variáveis dentro de cada tratamento. Essa comparação também foi feita sem considerar os tratamentos, ou seja, utilizando todas as amostras como um único tratamento, a fim de analisar qual cultivar apresentou melhor desempenho para a localidade.

Para compreender o efeito das doses e épocas de aplicação do trinexapac-ethyl na correlação entre as variáveis ALT, DC, MSF, MSP e MSC, foi realizada a análise de correlação de Pearson ou (r) de Pearson (5% de significância) dentro de cada tratamento, nos anos agrícolas 2019/2020, para as duas cultivares, e em 2020/2021 para a cultivar BRS 511.

Para o tabelamento dos dados e análises estatísticas, foram utilizadas planilhas do Excel e o suplemento Action.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de dados segue a distribuição normal e as variâncias são independentes, assim atendendo os pressupostos para a realização do teste T de Student (5% significância). Em algumas situações houve heterogeneidade de variâncias (Tabela 1), as quais foram levadas em consideração na análise.

Tabela 1 – Resumo dos testes de verificação da homogeneidade das variâncias.

ANO AGRÍCOLA 2018/2019								
	ALT	DC	MSF	MSP	MSC			
<b>BRS 511</b>								
TEST-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM			
TEST-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
V8D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
<b>BRS 506</b>								
TEST-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM			
TEST-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
V8D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
<b>ANO AGRÍCOLA 2019/2020</b>								
<b>BRS 506</b>								
TEST-V5D1	HM	HM	HT	HM	HT			
TEST-V5D2	HM	HM	HM	HT	HM			
TEST-V8D1	HM	HM	HM	HM	HT			
TEST-V8D2	HM	HM	HM	HM	HT			
V5D1-V5D2	HM	HM	HT	HM	HT			
V5D1-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM			
V5D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
V5D2-V8D1	HM	HM	HT	HM	HT			
V5D2-V8D2	HM	HM	HM	HM	HT			
V8D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
<b>BRS 511</b>								
TEST-V5D1	HM	HM	HM	HM	HT			
TEST-V5D2	HM	HT	HM	HM	HM			
TEST-V8D1	HM	HM	HT	HM	HT			
TEST-V8D2	HT	HM	HM	HM	HT			
V5D1-V5D2	HM	HM	HM	HM	HT			
V5D1-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM			
V5D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
V5D2-V8D1	HM	HM	HM	HM	HT			
V5D2-V8D2	HM	HT	HM	HM	HT			
V8D1-V8D2	HM	HM	HM	HM	HM			
<b>ANO AGRÍCOLA 2020/2021</b>								
<b>BRS 511</b>								
	PC	PB	ALT	DC	MSF	MSP	MSC	SS
TEST-V5D1	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM
TEST-V5D2	HM	HM	HM	HT	HM	HM	HM	HM
TEST-V8D1	HM	HM	HT	HM	HM	HM	HM	HM
TEST-V8D2	HM	HM	HT	HT	HM	HM	HM	HM
V5D1-V5D2	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM
V5D1-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM
V5D1-V8D2	HM	HM	HM	HT	HM	HM	HM	HM
V5D2-V8D1	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM	HM
V5D2-V8D2	HM	HM	HM	HT	HM	HM	HM	HM
V8D1-V8D2	HM	HM	HM	HT	HM	HT	HM	HM

ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo; PC = Produção de caldo; PB = Produção de biomassa; SS = Sólidos solúveis HM = variâncias homogêneas e HT = variâncias heterogêneas pelo teste F a 5% de significância

As plantas mais altas foram observadas no tratamento TEST, reduzindo significativamente com a aplicação e aumento da dosagem de trinexapac-ethyl. No primeiro ano agrícola, para a cultivar BRS 511, o tratamento TEST possibilitou média de 3,06 m, reduzindo para 2,84 m no V8D1 e 2,60 m no V8D2, enquanto para a cultivar BRS 506, a altura reduziu de 2,99 m no TEST, para 2,77 m e 2,58 m com os tratamentos V8D1 e V8D2, respectivamente. Nos anos subsequentes é possível observar que não houve diferença significativa entre as épocas de aplicação, ou seja, ao comparar V5D1 com V8D1 e V5D2 com V8D2 não foram encontradas diferenças significativas em relação a variável altura de planta, independente do ano e da dose aplicada. A dose 1,5 L ha<sup>-1</sup> representou maior decréscimo no porte em relação a dose 0,75 L ha<sup>-1</sup>, independente da época de aplicação e ano agrícola (Tabela 2).

A redução no porte com a aplicação e aumento da dosagem do trinexapac-ethyl se justifica, pois segundo AIT-ALI et al., (1999) o princípio ativo atua inibindo a formação de giberelinas de alta eficiência biológica, hormônio vegetal responsável pelo alongamento celular e conseqüente crescimento da planta. Além disso, Heckman et al., (2002) afirmam que o princípio ativo também inibe parcialmente o transporte de elétrons na mitocôndria, reduzindo a respiração celular, diminuindo a produção de ATP (adenosina trifosfato), molécula transportadora de energia, acarretando assim em queda no desenvolvimento vegetal.

Tabela 2 – Altura média de planta (m) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	3,06 a	2,99 a	3,25 a	3,19 a	3,41 a
<b>V5D1</b>	-	-	2,95 b	3,04 b	3,22 b
<b>V5D2</b>	-	-	2,68 c	2,64 c	2,94 c
<b>V8D1</b>	2,84 b	2,77 b	3,02 b	2,93 b	3,18 b
<b>V8D2</b>	2,60 c	2,58 c	2,71 c	2,66 c	2,96 c

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Não foram observadas diferenças significativas no diâmetro de colmo com a aplicação do trinexapac-ethyl em nenhum dos cenários analisados (Tabela 3). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Silva et al., (2018) que também não observaram significancia em relação ao diâmetro de colmo com a aplicação do redutor de crescimento, sugerindo que o princípio ativo tem pouca influência sobre essa variável.

Tabela 3 – Diâmetro médio de colmo por planta (mm) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	21,00 a	20,33 a	22,40 a	21,20 a	23,33 a
<b>V5D1</b>	-	-	22,60 a	21,20 a	23,33 a
<b>V5D2</b>	-	-	22,20 a	21,10 a	23,73 a
<b>V8D1</b>	21,00 a	20,00 a	22,20 a	21,00 a	23,93 a
<b>V8D2</b>	21,33 a	20,33 a	22,50 a	21,30 a	23,53 a

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Na safra 2018/2019 não foi observado acamamento de plantas. Em 2019/2020, no tratamento TEST, observou-se 3 e 4% de plantas acamadas para as cultivares BRS 511 e BRS 506, respectivamente, já com a aplicação do trinexapac-ethyl nas duas dosagens e nas duas épocas de aplicação não foram encontradas plantas acamadas. No ano agrícola 2020/2021 as plantas foram mais altas em relação aos anos anteriores e isso resultou em 9,33% de acamamento com o tratamento TEST, reduzindo para 1,67% com o V5D1 e 1,33% com o V8D1 para a cultivar BRS 511. Os tratamentos V5D2 e V8D2 possibilitaram um cultivo sem registro de plantas acamadas (Tabela 4).

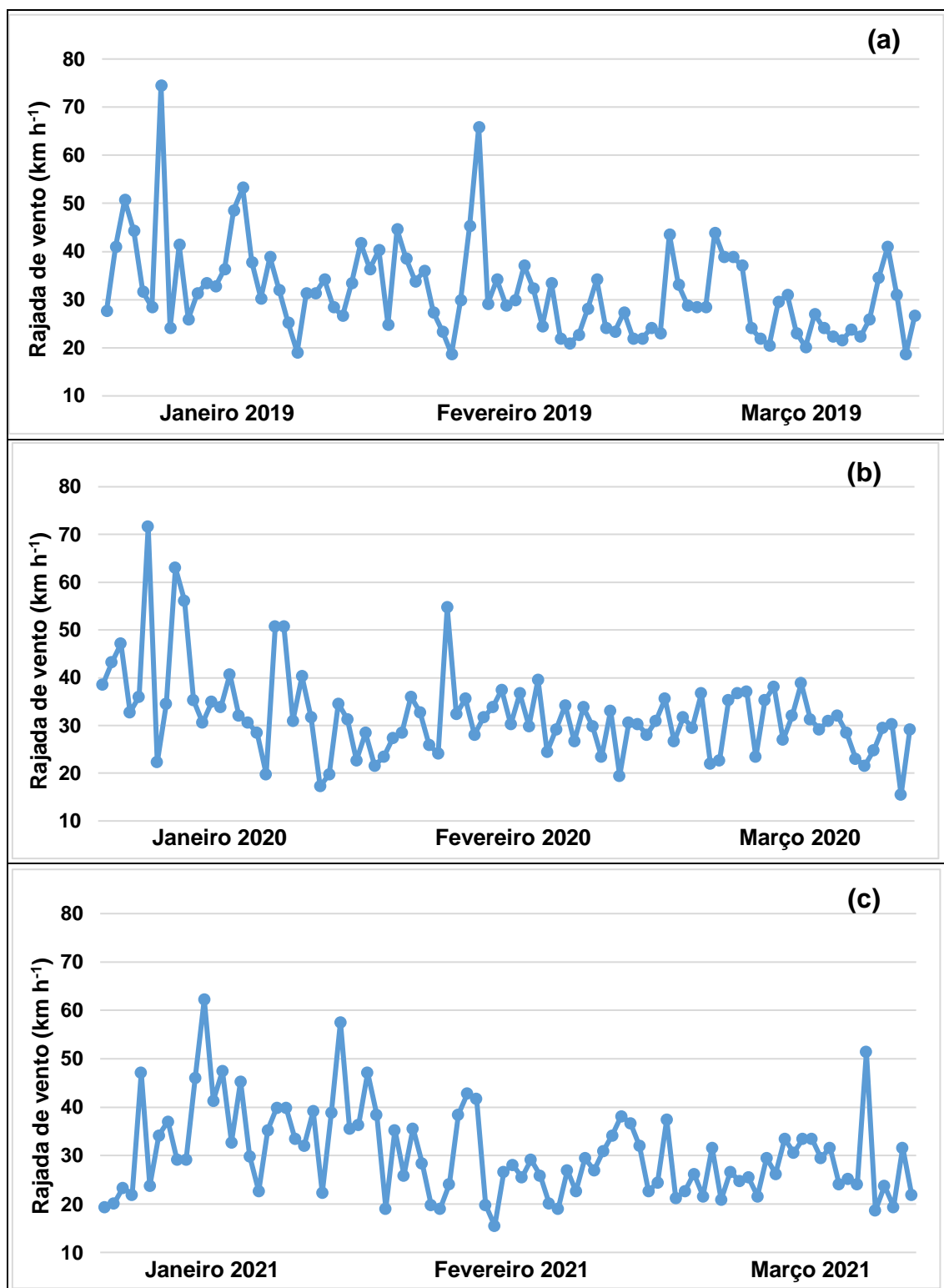
Tabela 4 – Acamamento de plantas (% ha<sup>-1</sup>) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	0	0	3,00	4,00	9,33
<b>V5D1</b>	-	-	0	0	1,67
<b>V5D2</b>	-	-	0	0	0
<b>V8D1</b>	0	0	0	0	1,33
<b>V8D2</b>	0	0	0	0	0

No primeiro ano agrícola houveram rajadas de vento de 74,52 km h<sup>-1</sup> no dia 7 de janeiro, quando as plantas ainda estavam no estágio vegetativo, e 65,88 km h<sup>-1</sup> no dia 11 de fevereiro (Figura 6a), quando as plantas já estavam em plena floração, entretanto, apesar dos ventos fortes, não foram registradas plantas acamadas. No segundo ano agrícola foram relatadas rajadas de vento superiores a 60 km h<sup>-1</sup> no início de janeiro e uma forte rajada de 54,78 km h<sup>-1</sup> no dia 8 de fevereiro (Figura 6b), causando acamamento. No terceiro ano agrícola observou-se rajada de vento de 62,28 km h<sup>-1</sup> em 12 de janeiro e 57,6 km h<sup>-1</sup> no dia 27 de janeiro (Figura 6c), resultando em um maior dano por acamamento em relação as safras anteriores. Biondo et al., (2019) registraram acamamento de plantas com rajadas de vento de 67 km h<sup>-1</sup>, antes do florescimento, e 58 km h<sup>-1</sup> durante o enchimento de grãos, em Santa Maria – RS.

Apesar do cultivo no ano agrícola 2018/2019 ter sido exposto a rajadas de vento elevadas, as plantas nessa safra foram mais baixas em relação aos outros anos estudados, justificando a ausência de acamamento. Segundo Snider; Raper e Schwab (2012) plantas mais altas e finas são mais sensíveis ao acamamento. Assim, com a redução da altura das plantas (Tabela 2), mesmo sem aumento significativo do diâmetro de colmo (Tabela 3), obtida com as diferentes dosagens do trinexapac-ethyl, independentemente da época de aplicação, ocorreu um controle efetivo do acamamento.

Figura 6 – Rajada de vento máxima diária nos meses de janeiro, fevereiro e março, nos anos 2018 (a), 2019 (b) e 2020 (c), na cidade de Santa Maria – RS.



Fonte: (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2021)

Com base na tabela 5 é possível observar que as maiores produções de massa seca de folha por planta foram com o tratamento TEST, reduzindo com a aplicação do trinexapac-ethyl e aumento da dose. No primeiro ano agrícola não houve diferença significativa entre a TEST e V8D1, nem entre V8D1 e V8D2, entretanto ao comparar TEST com o V8D2, ocorreu uma redução de 9 g por planta para as duas cultivares.

Na safra 2019/2020 foi observada uma redução significativa na MSF de 4,05 e 3,45 g por planta com a aplicação da dose 0,75 L ha<sup>-1</sup>, para a BRS 511, e 2,95 e 3,70 g por planta para a BRS 506 em relação ao tratamento TEST, para aplicação em V5 e V8, respectivamente. Com a dose 1,5 L ha<sup>-1</sup> essa redução foi de 8,5 e 7 g por planta na BRS 511 e 8,85 e 9,25 g por planta na BRS 506, para aplicação em V5 e V8, respectivamente. A maior dose testada representou queda significativa de cerca de 10 % em relação a menor, para os dois cultivares, nas duas épocas de aplicação (Tabela 5).

No terceiro ano agrícola, para a cultivar BRS 511, o tratamento TEST não diferiu dos tratamentos V5D1 e V8D1, entretanto em relação aos tratamentos V5D2 e V8D2 foram observadas reduções significativas de 5,5 e 4,97g, respectivamente, mostrando que o aumento da dose de 0,75 L ha<sup>-1</sup> para 1,5 L ha<sup>-1</sup> prejudica a produção de MSF. Não houve diferença significativa entre as épocas de aplicação (Tabela 5).

O hormônio vegetal giberelina, segundo Taiz; Zeiger (2010), além de estar ligado ao crescimento vegetal através do alongamento de entrenós, também tem função no alongamento das folhas, por isso com a sua redução na planta, devido a aplicação do trinexapax-ethyl, ocorre também uma queda na MSF por planta, justificando os resultados encontrados. De encontro a isso, Yoosukyingsataporn e Detpiratmongkol (2019) também encontraram redução na massa de folha com a aplicação do principio ativo.



Tabela 5 – Massa seca média de folhas por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	45,00 a	44,17 a	47,00 a	46,10 a	49,00 a
<b>V5D1</b>	-	-	42,95 b	43,15 b	46,67 ab
<b>V5D2</b>	-	-	38,50 c	37,25 c	43,50 b
<b>V8D1</b>	41,33 ab	40,00 ab	43,55 b	42,40 b	46,03 ab
<b>V8D2</b>	36,00 b	35,17 b	40,00 c	36,85 c	44,03 b

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

A maior produção de massa seca de panícula ocorreu com o tratamento TEST, sendo 31,67g por planta para a BRS 511 e 29,83g por planta para a BRS 506, em 2018/2019. Em 2019/2020 a MSP foi de 38 e 35,5 g planta para as cultivares BRS 511 e BRS 506, respectivamente. Em 2020/2021, o valor encontrado foi de 40,43 g por planta para a BRS 511. A dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup> reduziu a MSP independente da cultivar e do ano agrícola, enquanto a dose de 0,75 ha<sup>-1</sup> não diferiu da maior produtividade (TEST), nem da menor (1,5 L ha<sup>-1</sup>), independente da época de aplicação e do ano agrícola, mostrando que doses superiores a 0,75 L ha<sup>-1</sup> do trinexapac-ethyl podem reduzir significativamente a produção de panícula (Tabela 6).

A redução da massa seca de panícula pode ser explicada devido a dose mais elevada do trinexapac-ethyl reduzir significativamente a massa de folhas, baixando a capacidade fotossintética da planta, produzindo menos fotoassimilados, e assim afetando a produção de panícula. May et al., (2013a) também observaram uma queda na massa seca de panícula com o aumento da dose do trinexapac-ethyl, afirmando que a redução na área fotossintética afetou o metabolismo da planta. Os autores ainda afirmaram que altas doses do principio ativo podem causar inviabilidade completa no poder germinativo das sementes.

Tabela 6 – Massa seca média de panícula por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	31,67 a	29,83 a	38,00 a	35,50 a	40,43 a
<b>V5D1</b>	-	-	36,10 ab	32,95 ab	36,13 ab
<b>V5D2</b>	-	-	31,55 b	30,90 b	32,03 b
<b>V8D1</b>	28,50 ab	27,50 ab	36,65 ab	33,85 ab	34,03 ab
<b>V8D2</b>	26,33 b	25,33 b	31,05 b	31,50 b	31,00 b

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

A maior massa seca de colmo foi encontrado com o tratamento TEST, reduzindo significativamente com a aplicação e aumento da dosagem de trinexapac-ethyl para as duas cultivares. No primeiro ano agrícola, para a cultivar BRS 511, a avaliação do tratamento TEST apresentou média de 168,3 g por planta, reduzindo para 145,17 g no V8D1 e 122,00 no V8D2, enquanto para a cultivar BRS 506, com o tratamento TEST, a massa seca de colmo reduziu de 158,80 g por planta, para 141,17 e 118,17 g nos tratamentos V8D1 e V8D2, respectivamente (Tabela 7).

Nos anos subsequentes é possível observar que não houve diferença significativa entre as épocas de aplicação, ou seja, ao comparar V5D1 com V8D1 e V5D2 com V8D2 não foram observadas diferenças significativas em relação a variável MSC, independente do ano e da dose aplicada. A dose 1,5 L ha<sup>-1</sup> proporcionou maior decréscimo em relação a dose 0,75 L ha<sup>-1</sup>, independente da época de aplicação e do ano agrícola (Tabela 7).

A aplicação do inibidor da síntese de giberelina ativa, trinexapac-ethyl, atua na redução do alongamento das células do colmo e das folhas, assim reduzindo a altura de planta e a massa de folhas, conseqüentemente baixando a capacidade fotossintética da planta. Essas respostas acabaram se refletindo também na produção de MSC, que reduziu com a aplicação do princípio ativo. Resultados parcialmente semelhantes aos encontrados por Macedo et al.,

(2017) que também observaram redução da parte área, incluindo colmos e folhas, com a aplicação do trinexapac-ethyl.

Tabela 7 – Massa seca média de colmo por planta (g) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	168,33 a	158,50 a	176,20 a	174,90 a	198,27 a
<b>V5D1</b>	-	-	159,95 b	151,85 b	177,13 b
<b>V5D2</b>	-	-	136,95 c	127,80 c	154,07 c
<b>V8D1</b>	145,17 b	141,17 b	164,25 b	146,95 b	176,03 b
<b>V8D2</b>	122,00 c	118,17 c	138,25 c	133,25 c	155,03 c

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Foram observados valores satisfatórios no teor de sólidos solúveis nos três anos agrícolas, para as duas cultivares, independentemente do tratamento, com valores de °brix acima de 16,00, chegando até 17,33 no tratamento V5D2 na safra 2020/2021 (Tabela 8). Segundo May et al., (2013b) é necessário teor de açúcar total mínimo de 12,5%, que corresponde a valores entre 14,25 e 14,50 °brix, para viabilidade econômica da produção de etanol a partir do sorgo sacarino. Prasad et al., (2007) afirmam que o ponto ideal de colheita é quando o caldo atinge entre 15,5 a 16,5 °brix, para se obter alta qualidade de fermentação do caldo, maximizando a produção de etanol.

Foram observados valores superiores no teor de sólidos solúveis com a aplicação do trinexapac-ethyl nos três anos agrícolas, não se observando tendências claras de comportamento entre as doses e épocas de aplicação (Tabela 8). Resultados semelhantes aos encontrados por Viana et al., (2015) que observaram acréscimo no teor de sólidos solúveis com a aplicação do trinexapac-ethyl, subindo de 13,56 °brix na testemunha (sem aplicação) para 16,74, 16,27 e 16,97 °brix nas doses de 0,20, 0,40 e 0,80 L ha<sup>-1</sup>. Viana et al.,

(2019) alcançaram valores ainda mais elevados, chegando a 20,2 e 20,3 °brix com a aplicação das doses 0,4 e 0,8 L ha<sup>-1</sup> do princípio ativo.

A produção de etanol está diretamente ligada ao teor de sacarose. Segundo Caputo et al., (2005) o uso de redutores de crescimento altera a morfologia e fisiologia da planta, promovendo redução no crescimento e possibilitando incrementos qualitativos, atuando na partição dos fotoassimilados e também sobre enzimas que catalisam o acúmulo de sacarose nos colmos. Batista et al., (2018) afirmam que pode ocorrer correlação positiva entre os valores de °brix e teor de sacarose.

Tabela 8 – Teor de sólidos solúveis (°brix) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento.

	2018/2019		2019/2020		2020/2021
	BRS 511	BRS 506	BRS 511	BRS 506	BRS 511
<b>TEST</b>	16,6	16,1	16,7	16,0	16,93 b
<b>V5D1</b>	-	-	17	16,3	17,23 a
<b>V5D2</b>	-	-	16,9	16,4	17,33 a
<b>V8D1</b>	16,9	16,4	16,9	16,3	17,23 a
<b>V8D2</b>	17	16,4	17	16,5	17,27 a

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Houve uma redução na produção total de caldo com a aplicação e aumento da dose do trinexapac-ethyl nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 (Figuras 7 e 8), possivelmente como reflexo da queda no desenvolvimento vegetal. No primeiro ano agrícola, no tratamento TEST, observou-se produção de 20.280 L ha<sup>-1</sup> de caldo para a cultivar BRS 511 e 18.880 L ha<sup>-1</sup> para a cultivar BRS 506. Esses valores reduziram com a aplicação do trinexapac-ethyl, ficando em 16.880 L ha<sup>-1</sup> na dose 0,75 L ha<sup>-1</sup> e 13.520 L ha<sup>-1</sup> na dose 1,5 L ha<sup>-1</sup>, para a cultivar BRS 511, enquanto na cultivar BRS 506 a produção de caldo baixou para 16,040 L ha<sup>-1</sup> e 12,940 L ha<sup>-1</sup> nas doses 0,75 L ha<sup>-1</sup> e 1,5 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 7). No segundo ano agrícola o tratamento TEST possibilitou produção de

22.520 e 21.940 L ha<sup>-1</sup> de caldo para a BRS511 e BRS506, respectivamente, reduzindo cerca de 17% com a aplicação da dose 0,75 L ha<sup>-1</sup> e 35% na dose 1,5 L ha<sup>-1</sup> para os dois cultivares (Figura 8).

Figura 7 – Produção total de caldo de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2018/2019.

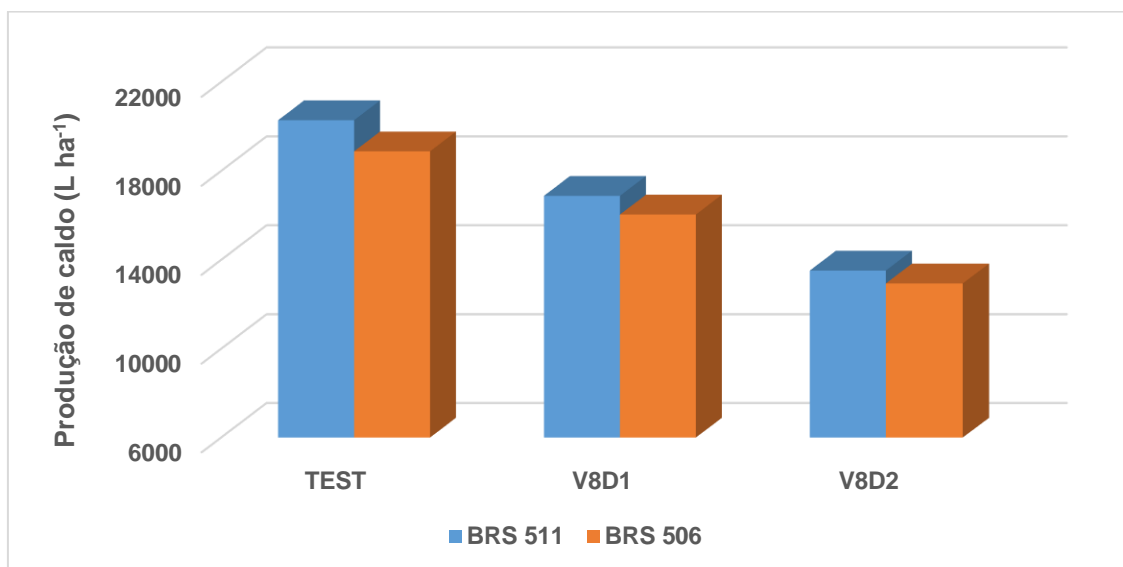
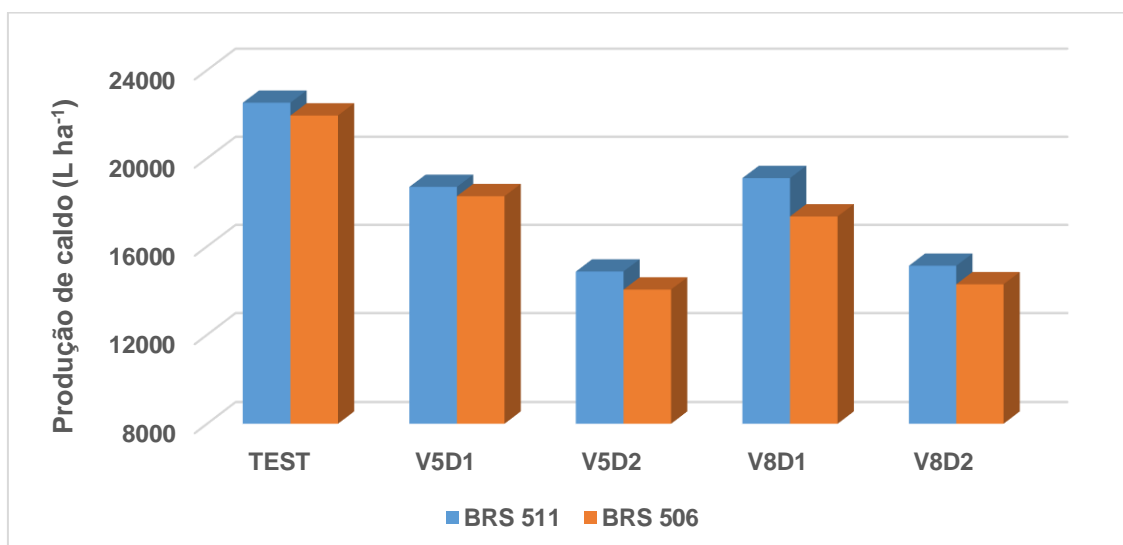


Figura 8 – Produção total de caldo de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020.



Os valores de produção total de caldo obtidos nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 são inferiores aos encontrados por Solano et al., (2017) que nas condições do município de Campos dos Goytacazes, alcançaram produção de até 38.456 L ha<sup>-1</sup> para a cultivar BRS 506 e 35.619 L ha<sup>-1</sup> para a cultivar BRS 511, não observando diferenças significativas na qualidade do caldo. Em contrapartida, Câmara; Parrella e Silva (2018), em Teotônio Vilela – AL, não observaram diferenças significativas na produção total de caldo entre as duas cultivares, porém apontaram superioridade no teor de sólidos solúveis para a BRS 511, em relação a BRS 506, comprovando que o ambiente pode influenciar na produção total e na qualidade do caldo do sorgo sacarino.

Ao comparar os cultivares dentro de cada tratamento no agrícola 2018/2019 (Tabela 9), pode-se observar que a BRS 506 teve menor DC com a aplicação e aumento da dosagem do trinexapac-ethyl, em relação a BRS 511. Além disso, a produção total de caldo também foi inferior na BRS 506, representando uma diferença de 1.400 L ha<sup>-1</sup> no tratamento TEST. Nos três tratamentos é possível perceber que o teor de sólidos solúveis foi superior na BRS 511. Ademais, as outras variáveis não diferiram significativamente entre os cultivares nos tratamentos.

Tabela 9 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, no ano agrícola 2018/2019 em relação a produção de caldo (L ha<sup>-1</sup>), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca de folha (g planta<sup>-1</sup>), massa seca de panícula (g planta<sup>-1</sup>) e massa seca de colmo (g planta<sup>-1</sup>), por tratamento.

		PC	SS	ATL	DC	MSF	MSP	MSC
<b>TEST</b>	<b>BRS511</b>	20.280	16,6	3,06 a	21,00 a	45,00 a	31,67 a	168,33 a
	<b>BRS506</b>	18.880	16,1	2,99 a	20,33 a	44,17 a	29,83 a	158,5 a
<b>V8D1</b>	<b>BRS511</b>	16.880	16,9	2,84 a	21,00 a	41,33 a	28,50 a	145,17 a
	<b>BRS506</b>	16.040	16,4	2,77 a	20,00 b	40,00 a	27,50 a	141,17 a
<b>V8D2</b>	<b>BRS511</b>	13.520	17	2,6 a	21,33 a	36,00 a	26,33 a	122,00 a
	<b>BRS506</b>	12.940	16,4	2,58 a	20,33 b	35,17 a	25,33 a	118,17 a

PC = Produção de caldo; SS = Sólidos solúveis; ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Ao comparar os cultivares dentro de cada tratamento no ano agrícola 2019/2020, percebe-se que o desempenho da BRS 506 foi inferior à BRS 511 para a ALT no tratamento V8D1, MSP no tratamento TEST e MSC nos tratamentos V5D1, V8D1 e V8D2. Além disso, a produção total de caldo foi inferior em todos os tratamentos, destacando a queda de 1.740 L ha<sup>-1</sup> em V8D1, possivelmente como reflexo da significativa redução da altura e massa seca de colmo (Tabela 10).

Tabela 10 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, no ano agrícola 2019/2020 em relação a produção de caldo (L ha<sup>-1</sup>), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca de folha (g planta<sup>-1</sup>), massa seca de panícula (g planta<sup>-1</sup>) e massa seca de colmo (g planta<sup>-1</sup>), por tratamento.

		PC	SS	ATL	DC	MSF	MSP	MSC
<b>TEST</b>	<b>BRS511</b>	22.520	16,7	3,25 a	22,40 a	47,00 a	38,00 a	176,20 a
	<b>BRS506</b>	21.940	16	3,19 a	21,20 a	46,10 a	35,50 b	174,90 a
<b>V5D1</b>	<b>BRS511</b>	18.700	17	2,95 a	22,60 a	42,95 a	36,10 a	159,95 a
	<b>BRS506</b>	18.280	16,3	3,04 a	21,20 a	43,15 a	32,95 a	151,85 b
<b>V5D2</b>	<b>BRS511</b>	14.860	16,9	2,68 a	22,20 a	38,50 a	31,55 a	136,95 a
	<b>BRS506</b>	14.040	16,4	2,64 a	21,10 a	37,25 a	30,90 a	127,8 a
<b>V8D1</b>	<b>BRS511</b>	19.100	16,9	3,02 a	22,20 a	43,55 a	36,65 a	164,25 a
	<b>BRS506</b>	17.360	16,3	2,93 b	21,0 a	42,40 a	33,85 a	146,95 b
<b>V8D2</b>	<b>BRS511</b>	15.120	17	2,71 a	22,50 a	40,00 a	31,05 a	138,25 a
	<b>BRS506</b>	14.280	16,5	2,66 a	21,30 a	36,85 a	31,50 a	133,25 b

PC = Produção de caldo; SS = Sólidos solúveis; ATL = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

Ao comparar as médias das cultivares, independentemente do tratamento, nos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 (Tabela 11), constata-se que a produção de caldo não diferiu significativamente em nenhum dos ensaios. Entretanto, as diferenças produtivas foram de aproximadamente 5%, representando queda de 940 e 880 L ha<sup>-1</sup>, no primeiro e segundo ano agrícola,

respectivamente, em prol da BRS 511, números relevantes que não devem ser desprezados no momento da recomendação do cultivar. Além disso, foi observado maior qualidade tecnológica do caldo, representada pelos sólidos solúveis (°brix), e diâmetro de colmo, na BRS511 em detrimento a BRS506. As variáveis morfológicas ALT e MSF, não diferiram entre os cultivares, porém a MSP e MSC, em 2019/2020, também foram superiores na BRS511, justificando assim seu maior desempenho e recomendação para a localidade de Santa Maria – RS.

Tabela 11 – Comparação entre as cultivares BRS 511 e BRS 506, nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020, em relação a produção de caldo ( $L\ ha^{-1}$ ), sólidos solúveis (°brix), altura de planta (m), diâmetro de colmo (mm), massa seca de folha ( $g\ planta^{-1}$ ), massa seca de panícula ( $g\ planta^{-1}$ ) e massa seca de colmo ( $g\ planta^{-1}$ ).

		2018/2019	2019/2020
<b>PC</b>	<b>BRS511</b>	16.893,33 a	<b>BRS511</b> 18.060 a
	<b>BRS506</b>	15.953,33 a	<b>BRS506</b> 17.180 a
<b>SS</b>	<b>BRS511</b>	16,83 a	<b>BRS511</b> 16,90 a
	<b>BRS506</b>	16,30 b	<b>BRS506</b> 16,30 b
<b>ALT</b>	<b>BRS511</b>	2,83 a	<b>BRS511</b> 2,92 a
	<b>BRS506</b>	2,78 a	<b>BRS506</b> 2,89 a
<b>DC</b>	<b>BRS511</b>	21,11 a	<b>BRS511</b> 22,38 a
	<b>BRS506</b>	20,22 b	<b>BRS506</b> 21,16 b
<b>MSF</b>	<b>BRS511</b>	40,78 a	<b>BRS511</b> 42,40 a
	<b>BRS506</b>	39,78 a	<b>BRS506</b> 41,15 a
<b>MSP</b>	<b>BRS511</b>	28,83 a	<b>BRS511</b> 34,67 a
	<b>BRS506</b>	27,55 a	<b>BRS506</b> 32,94 b
<b>MSC</b>	<b>BRS511</b>	145,17 a	<b>BRS511</b> 155,12 a
	<b>BRS506</b>	139,28 a	<b>BRS506</b> 146,95 b

PC = Produção de caldo; SS = Sólidos solúveis; ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.



Os valores encontrados nesse trabalho apontam superioridade no desempenho da cultivar BRS 511 em relação a BRS 506. Esses dados são reforçados por Bandeira et al., (2016b) que relataram maior teor de brix e maior produtividade de colmo para a cultivar BRS 511 em comparação a BRS 506 na mesma localidade, Santa Maria – RS, justificando a escolha do cultivar para a região de estudo.

Na safra 2020/2021 a maior produção de biomassa verde, na BRS 511, foi superior a 94 t ha<sup>-1</sup> no tratamento TEST (Tabela 12). Souza et al. (2016) encontraram produção de massa fresca de 70 t ha<sup>-1</sup>, enquanto Figueiredo et al (2015) alcançaram 42,79 t ha<sup>-1</sup>. May et al., (2013b) afirmam que com °brix acima de 14,2° é possível gerar 60 litros de etanol por tonelada de colmo. Nesse cenário seria possível produzir mais de 5.000 litros de etanol ha<sup>-1</sup> com os valores obtidos no ano agrícola 2020/2021, para a BRS 511, no tratamento TEST. Segundo Martins et al., (2017) a BRS 511 pode apresentar produtividade de etanol ainda maior, chegando a 70 litros de etanol por tonelada de biomassa verde dependendo da concentração de açúcares no caldo, dessa forma, tornando os resultados obtidos ainda mais promissores.

Com o tratamento TEST, observou-se também maior produção total de caldo, chegando a 25.846,67 L ha<sup>-1</sup>, reflexo da maior produção de biomassa em comparação aos demais tratamentos (Tabela 12). Resultado semelhante aos expostos por May et al., (2012b) que também encontraram maior massa de caldo conforme aumento na produção de massa fresca.

A produção total de caldo e de biomassa verde da BRS 511 no ano agrícola 2020/2021 reduziram significativamente com a aplicação do trinexapac-ethyl e aumento da dosagem. Houve uma queda de 15 e 16% na produção total de caldo com a aplicação de 0,75 L ha<sup>-1</sup> do princípio ativo, e 28 e 27% com o uso de 1,5 L ha<sup>-1</sup>, em V5 e V8, respectivamente. A produção de biomassa verde caiu 10 e 11% para a dose 0,75 L ha<sup>-1</sup> e 22 e 20% para a dose 1,5 L ha<sup>-1</sup>, em V5 e V8, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12 - Produção de caldo (L ha<sup>-1</sup>) e biomassa verde (t ha<sup>-1</sup>) de sorgo sacarino submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, para a BRS 511, no ano agrícola 2020/2021, por tratamento.

	<b>Produção de caldo</b>	<b>Biomassa verde</b>
<b>TEST</b>	25.846,67 a	94,39 a
<b>V5D1</b>	22.046,67 b	85,02 b
<b>V5D2</b>	18.446,67 c	73,55 c
<b>V8D1</b>	21.773,33 b	84,07 b
<b>V8D2</b>	18.933,33 c	75,88 c

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste T de Student a 5% de significância.

A aplicação e aumento da dose do redutor de crescimento reduziu a altura de planta, massa seca de folha e massa seca de colmo, assim refletindo em uma queda na produção total de caldo e de biomassa verde. Resultados semelhantes aos encontrados por May et al., (2013a) que afirmam que a redução do porte apresenta vantagens agronômicas como redução do acamamento, entretanto doses elevadas do trinexapac-ethyl acarretam em redução drástica no porte das plantas, refletindo em queda significativa na produção de colmos e consequentemente de biomassa verde e caldo.

O coeficiente de correlação (r) é representado por um valor adimensional que varia entre 1 e -1. Quando as variáveis X e Y tem correlação linear forte positiva, o valor de r é próximo a 1, já quando a correlação linear forte é negativa, r fica próximo a -1. Quando a correlação é fraca ou nula, r fica próximo a 0 (LARSON e FARBER, 2010). Assim, segundo Santos et al., (2016) coeficientes de correlação de Person |r| entre 0,00 e 0,30 apontam correlação nula, enquanto entre 0,30 e 0,60 representam média magnitude de correlação, e valores acima de 0,60 correspondem a forte interação, ou seja, que as variáveis têm alto grau de correlação, sugerindo dependência entre as características avaliadas.

Tabela 13 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 511, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020, por tratamento.

<b>TESTEMUNHA</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	0,00	0,87 *	- 0,14	0,92 *
<b>DC</b>		1	0,24	- 0,19	0,04
<b>MSF</b>			1	- 0,02	0,86 *
<b>MSP</b>				1	- 0,11
<b>MSC</b>					1
<b>V5D1</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	- 0,07	0,86 *	- 0,04	0,87 *
<b>DC</b>		1	- 0,09	0,44	- 0,05
<b>MSF</b>			1	- 0,02	0,77 *
<b>MSP</b>				1	- 0,21
<b>MSC</b>					1
<b>V5D2</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	0,11	0,80 *	0,17	0,92*
<b>DC</b>		1	- 0,34	0,28	0,21
<b>MSF</b>			1	0,17	0,67 *
<b>MSP</b>				1	0,01
<b>MSC</b>					1
<b>V8D1</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	0,09	0,73 *	- 0,02	0,96 *
<b>DC</b>		1	- 0,28	-0,03	0,22
<b>MSF</b>			1	0,16	0,69 *
<b>MSP</b>				1	- 0,01
<b>MSC</b>					1
<b>V8D2</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	- 0,22	0,81 *	- 0,10	0,85 *
<b>DC</b>		1	-0,15	0,14	0,05
<b>MSF</b>			1	- 0,03	0,83 *
<b>MSP</b>				1	- 0,12
<b>MSC</b>					1

ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Coeficientes seguidos por \* apresentam correlação significativa a 5% de significância.

Tabela 14 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 506, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2019/2020, por tratamento.

<b>TESTEMUNHA</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	0,37	0,84 *	0,05	0,88 *
<b>DC</b>		1	0,31	- 0,21	0,45
<b>MSF</b>			1	- 0,14	0,84 *
<b>MSP</b>				1	0,03
<b>MSC</b>					1
<b>V5D1</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	- 0,30	0,91 *	- 0,23	0,91 *
<b>DC</b>		1	- 0,26	0,27	- 0,10
<b>MSF</b>			1	- 0,41	0,88 *
<b>MSP</b>				1	- 0,19
<b>MSC</b>					1
<b>V5D2</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	- 0,13	0,77 *	0,10	0,90 *
<b>DC</b>		1	- 0,38	0,06	0,00
<b>MSF</b>			1	0,11	0,77 *
<b>MSP</b>				1	- 0,04
<b>MSC</b>					1
<b>V8D1</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	0,10	0,78 *	- 0,20	0,94 *
<b>DC</b>		1	0,15	0,11	- 0,01
<b>MSF</b>			1	0,01	0,75 *
<b>MSP</b>				1	- 0,30
<b>MSC</b>					1
<b>V8D2</b>					
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>
<b>ALT</b>	1	- 0,29	0,77 *	0,09	0,86 *
<b>DC</b>		1	- 0,38	- 0,21	- 0,16
<b>MSF</b>			1	- 0,08	0,90 *
<b>MSP</b>				1	0,07
<b>MSC</b>					1

ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Coeficientes seguidos por \* apresentam correlação significativa a 5% de significância.

Tabela 15 – Coeficientes de correlação de Pearson para o sorgo sacarino, cultivar BRS 511, submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento, no ano agrícola 2020/2021, por tratamento.

<b>TESTEMUNHA</b>						
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>	
<b>ALT</b>	1	0,29	0,89 *	- 0,30	0,81 *	
<b>DC</b>		1	0,24	0,19	- 0,05	
<b>MSF</b>			1	- 0,28	0,89 *	
<b>MSP</b>				1	- 0,24	
<b>MSC</b>					1	
<b>V5D1</b>						
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>	
<b>ALT</b>	1	- 0,10	0,65 *	- 0,11	0,70 *	
<b>DC</b>		1	0,08	- 0,19	- 0,07	
<b>MSF</b>			1	- 0,28	0,71 *	
<b>MSP</b>				1	- 0,39	
<b>MSC</b>					1	
<b>V5D2</b>						
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>	
<b>ALT</b>	1	- 0,39	0,83 *	- 0,37	0,91 *	
<b>DC</b>		1	- 0,32	0,34	- 0,32	
<b>MSF</b>			1	- 0,31	0,69 *	
<b>MSP</b>				1	- 0,35	
<b>MSC</b>					1	
<b>V8D1</b>						
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>	
<b>ALT</b>	1	0,15	0,83 *	- 0,08	0,85 *	
<b>DC</b>		1	0,06	- 0,30	0,29	
<b>MSF</b>			1	- 0,15	0,74 *	
<b>MSP</b>				1	- 0,36	
<b>MSC</b>					1	
<b>V8D2</b>						
	<b>ALT</b>	<b>DC</b>	<b>MSF</b>	<b>MSP</b>	<b>MSC</b>	
<b>ALT</b>	1	- 0,06	0,88 *	- 0,21	0,89 *	
<b>DC</b>		1	- 0,20	0,21	- 0,01	
<b>MSF</b>			1	- 0,23	0,74 *	
<b>MSP</b>				1	- 0,21	
<b>MSC</b>					1	

ALT = Altura de Planta; DC = Diâmetro de colmo; MSF = Massa seca de folhas; MSP = Massa seca de panícula; MSC = Massa seca de colmo. Coeficientes seguidos por \* apresentam correlação significativa a 5% de significância.

No ano agrícola 2019/2020, tanto na BRS 511 (Tabela 13) quanto na BRS 506 (Tabela 14) houve correlação significativa positiva de alta magnitude entre as variáveis ALP x MSF x MSC. A redução na massa de folhas proporciona uma

queda da área fotossintética da planta, afetando a produção de fotoassimilados, conseqüentemente reduzindo o desenvolvimento do vegetal, justificando assim a relação positiva entre as variáveis. Oliveira et al., (2021) também encontraram correlação positiva entre altura de planta e massa seca de parte aérea (folhas e colmos) e entre o número de colmos e número de folhas. Burks et al., (2015) observaram alta correlação (0,62) entre altura e peso de massa seca de planta. Naoura et al., (2020) notaram magnitude de (0,78) entre altura de planta e massa seca de colmo, enquanto Bojovic et al., (2019) pontuam significância na correlação entre altura de planta e número de folhas.

No ensaio realizado em 2020/2021 (Tabela 15) com a BRS 511, o comportamento foi semelhante ao observado em 2019/2020. Houve correlação significativa positiva de alta magnitude para as variáveis ALT x MSF x MSC em todos os tratamentos. Assim como no ano anterior, para as duas cultivares, o DC não apresentou correlação significativa com nenhuma variável. Disasa; Feyissa e Admassu (2017) e Oliveira et al., (2021) também não observaram correlação significativa entre diâmetro de colmo e altura de planta.

A MSP também não apresentou correlação significativa com nenhuma das variáveis analisadas. Como já citado, May et al., (2013a) afirmam que pode ocorrer carreamento de fotoassimilados para a produção de grãos com a redução do porte da planta, porém segundo Caputo et al., (2005), a redução no porte pode atuar também carreando fotoassimilados para acúmulo de sacarose nos colmos. Nesse contexto, Torres et al., (2012) observaram correlação negativa entre peso de panícula e sólidos solúveis totais, explicando que existe competição por fotoassimilados durante o enchimento de grãos. Dessa forma, mesmo com a redução do porte, a MSP não apresentou diferenças significativas, sugerindo competição por fotoassimilados entre sacarose do colmo e massa de panícula.

Com base nos coeficientes de correlação de Pearson é possível observar que as variáveis apresentam comportamento similar em todos os cenários avaliados. Diante disso sugere-se que as correlações entre as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, massa seca de folha, massa seca de panícula e massa seca de colmo são intrínsecas da cultura, independentemente do cultivar, ano agrícola, dosagem e época de aplicação do trinexapac-ethyl.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação do trinexapac-ethyl nas dosagens de  $0,75 \text{ L ha}^{-1}$  e  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  reduz o desenvolvimento vegetativo e o acamamento das plantas de sorgo sacarino, além de maximizar o teor de sólidos solúveis do caldo, entretanto resulta em queda significativa na quantidade total de caldo produzido, ao ser realizada tanto no estágio vegetativo de cinco folhas (V5) quanto no de oito folhas (V8), para as cultivares BRS 511 e BRS 506.

As cultivares BRS 511 e BRS 506 atendem os requisitos mínimos de °brix para viabilidade econômica da cultura do sorgo sacarino para produção de etanol na localidade de Santa Maria – RS, entretanto, destaca-se que a BRS 511 apresentou maior teor de sólidos solúveis no caldo em relação a BRS 506.

Existe correlação linear positiva significativa de alta magnitude entre as variáveis morfológicas altura de planta, massa seca de folha e massa seca de colmo para as cultivares BRS 511 e BRS 506.

## 6 REFERÊNCIAS

AIT.ALI, T. et. al. Regulation of gibberellin 20-oxidase and gibberellin 3  $\beta$ -Hydroxylase Transcript Accumulation during De-Etiolation of Pea Seedlings. **Plant Physiol**, v. 121, n. 3, p. 7833-791, 1999.

ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2012.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, S. R. et al. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 973-979, 2003.

BANDEIRA, A. H. et al. Influência do espaçamento de entrelinhas nos caracteres agrônômicos de sorgo sacarino na Depressão Central do RS. **XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO “Milho e Sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar”**. Bento Gonçalves, 2016b. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151516/1/Beatriz-Emygdio-DxE-sordo-sacarino-CBMS-2016.pdf> >. Acesso em: 19 de julho de 2021.

BANDEIRA, A. H. et al. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 240-250, 2016a.



BATISTA, V. A. P. et al. Produção de açúcares no caldo de sorgo sacarino avaliado em duas épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 263-273, 2018.

BENEDETTI, P. et al. Influência do nitrogênio na cultura do sorgo BRS 506 para a produção de biomassa. **Ciência & Tecnologia: Fatec – JB**, Jaboticabal, v. 7, p. 131-135, 2015.

BIONDO, J. C. et al. Atributos qualitativos e maturação de genótipos de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 14, n. 3, p. 1-8, 2019.

BOJOVIC, R. et al. Morphological characterization of sweet sorghum genotypes across environments. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 29, n. 3, p. 721-729, 2019.

BURKS, P. S. et al. Genomewide Association for Sugar Yield in Sweet Sorghum. **Crop Science**, v. 55, p. 2138-2148, 2015.

BUSO, W. H. D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 23, ed. 170, p. 29, 2011.

CÂMARA, T. M. M.; PARRELLA, R. A. C.; SILVA, H. E. Qualidade industrial de etanol de genótipos de sorgo sacarino em planta e rebrota. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 216-228, 2018.

CAPUTO, M. M. et al. O uso de maturadores químicos na cana-de-açúcar; **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 2, n. 2, 2005.

CAVALCANTE, T. J. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas na região do Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Espácios**. v. 38, n. 46, p. 26, 2017.

CHAVARRIA, G. et al. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativos, rendimento e qualidade de grãos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 6, p. 583-588, 2015.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBCS/NRS. ed. 10, Porto Alegre, 2004. 400p.

CUNHA, S. P.; SEVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75, 2010.

DISASA, T.; FEYISSA, T.; ADMASSU, B. Characterization of Ethiopian Sweet Sorghum Accessions for °Brix, Morphological and Grain Yield Traits. **SugarTech**, v. 19, p. 72–82, 2017.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. **Agroenergia em Revista**, ed. 3, p. 1-52, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMBRAPA). **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, p. 2, 2012c Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68401/1/brs-511.pdf>>

Acesso em: 19 de julho de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMBRAPA). **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, p. 2, 2012b Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68397/1/brs-506.pdf> > Acesso em: 19 de julho de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasileira, ed. 3, p. 353, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMBRAPA). Cultivo do Sorgo. **Sistema de Produção Embrapa**, 2012a. Disponível em <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=3809&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicId=3530](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3809&p_r_p_-996514994_topicId=3530)> Acesso em: 19 de julho de 2018.

EMYGDIO, B. M. Desempenho da cultivar de sorgo sacarino BR 506 visando a produção de etanol em dois ambientes contrastantes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 45-51, 2011.

EMYGDIO, B. M. et al. Avaliação e indicação de cultivares de sorgo sacarino para o RS visando à produção de etanol. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, ed. 1, p. 38, 2016a. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 254).

EMYGDIO, B. M. et al. Épocas de semeadura para cultivar de sorgo sacarino BRS 511 visando à produção de etanol na metade sul do RS. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, ed. 1, p. 28, 2016b. (Boletim de Pesquisa, 255).

EMYGDIO, B. M. **Produção de Sorgo Sacarino no Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, ed. 1, p. 94, 2018. (SISTEMA DE PRODUÇÃO, 25).

FAGHERAZZI, M. M. et al. Phenological sensitivity of two maize cultivars to trinexapac-ethyl. **Planta Daninha**, Lages, v. 36, p. 1-10, 2018.

FARIA, A. T. et al. Alterações nas características fisiológicas da cana-de-açúcar causadas por trinexapac-ethyl. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 2, p. 200-204, 2014.

FIGUEIREDO, U. J. et al. Adaptability and stability of genotypes of sweet sorghum by GGEBiplot and Toler methods. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 11211-11221, 2015.

FREITAS, R. S. et al. Sorgo granífero no estado de São Paulo – Avaliação de cultivares. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 8 2011.

GAMARRA, J. Assembleia aprova proposta do Pró-Etanol e projeto para atualização do Fundopem. **Governo do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 18 mai. 2021. Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/assembleia-aprova-proposta-do-pro-etanol-e-projeto-para-atualizacao-do-fundopem>>.

Acesso em: 19 de julho de 2021.

HECKMAN, N. L. et al. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 423-427, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – (INMET). Dados meteorológicos. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brasília, 2021. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – (IRENA). World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. **Int. Ren. Ene. Age.**, Abu Dhabi, p. 312, 2021. Disponível em: <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_World\\_Energy\\_Transitions\\_Outlook\\_2021.pdf?la=en&hash=C2117A51B74EAB29727609D778CDD16C49E56E83](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf?la=en&hash=C2117A51B74EAB29727609D778CDD16C49E56E83)>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LIMA, S. F. et al. EFFECT OF TRINEXAPAC-ETHYL ON SUGARCANE VARIETIES. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 35, n. 1, p. 159-165, 2019.

MACEDO W. R. et al. Plant growth regulators on sweet sorghum: physiological and nutritional value analysis. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus, v. 8, n. 1, p. 170-175, 2017.

MARTINS, A. M. et al. Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 217-231, 2017.

MASSON, I. S. et al. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1695-1700, 2015.

MAY, A. et al. Cultivo de Sorgo Sacarino em Áreas de Reforma de Canaviais: Desempenho Produtivo de Sorgo Sacarino Cultivado em Reforma de Canaviais nos Últimos Anos. **Embrapa Milho E Sorgo**, Sete Lagoas, ed. 1, p. 36, 2013b. (Circular técnica, 186).

MAY, A. et al. Fito-hormônios no desenvolvimento vegetativo e germinação das sementes de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 33-43, 2013a.

MAY, A. et al. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, ed. 1, p. 120, 2012a. (Documentos, 139).

MAY, A. et al. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 278-290, 2012b.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - (MAPA). Produção brasileira de etanol. **Departamento de Comercialização e Abastecimento**, 2021. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/004PRODUOBRASILEIRADEETANOL\\_09032021.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/004PRODUOBRASILEIRADEETANOL_09032021.pdf)>. Acesso em 19 de julho de 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Oferta e Demanda de Energia. Instalações Energéticas. Energia no Mundo. **Resenha Energética Brasileira**, Brasília, p. 31, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergéticaExercício2020final.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

MIRANDA, J. E. C.; PEREIRA, J. R. Plantio de sorgo para silagem. 2003. Disponível em: <<https://www.beefpoint.com.br/plantio-de-sorgo-para-silagem-17376/>>. Acesso em: 19 de julho de 2019.

MODDUS: regulador de crescimento. Monthey: Suíça. 2020. Bula de produto

MOURA, S. M. et al. Estudo do Perfilho do Sorgo Sacarino em Diferentes Densidades de Semeadura. **XXX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO: “Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global”**, Salvador, 2014. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/992110/1/Estudoperfilho.pdf>>. Acesso em 19 de julho de 2021.

NAOURA, G. et al. Characterization of semi-arid Chadian sweet sorghum accessions as potential sources for sugar and ethanol production. **Scientific Reports**, n. 10, p. 11, 2020.

NASCIMENTO, M. F. et al., Avaliação de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na região amazônica, Brasil. **Revista Nativa**, Sinop, v. 5, n. 6, p. 381-385, 2017.

OLIVEIRA, N. G. et al. Desempenho agrônômico do sorgo sacarino em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 4, p. 1-16, 2019.

OLIVEIRA, T. C. et al. Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. 1-10, 2021.

PAIXÃO, M. A. S.; MIRANDA, S. H. G. Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China. **Revista Pesquisa & Debate**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 50-83, 2018

PRASAD, S. et al. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy and Fuels**, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415-2420, 2007.

ROSA, W. J. Cultura do sorgo. **EMATER - MG**, 2012. Disponível em <[http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL\\_TECNICO/a%20cultura%20do%20sorgo.pdf](http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL_TECNICO/a%20cultura%20do%20sorgo.pdf)> Acesso em 19 de julho de 2018.

SANTOS, C. V. et al. Correlações genóticas entre características agronômicas de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO “Milho e Sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar”**. Bento Gonçalves, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149698/1/Correlacoes-genotipicas.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.



SAWAZAKI, E.; FREITAS, R. S. Tecnologia verde para produção de vassoura. **O agrônomo: Boletim técnico informativo do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 70, 2018. Disponível em: <<http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=11599>>. Acesso em: 19 de julho de 2019.

SHEPARD, D.; DIPAOLA, J.M. Regulate growth and improve turf quality. **Golf Course Management**, v. 68, n. 3, p. 56-59, 2000.

SILVA B. W. A et al. Análise do desenvolvimento de sorgo sacarino sob efeito de maturador químico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba, v. 3, n. 2, p. 180-194, 2018.

SNIDER, J. L.; RAPER, R. L.; SCHWAB. The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plants tand characteristics of non irrigated photoperiod sensitive sorghum. **Industrial Crops and Products**, Tucson, v. 37, p. 527-535, 2012.

SOLANO, C. S. et al. Qualidade do caldo para produção de etanol em cultivares de sorgo sacarino sob adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 388-400, 2017.

SOUZA, R. S. et al. Maturation curves of sweet sorghum genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 1, p. 46-56, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Sunderland: Sinauer Associates, p. 782, 2010.

TERRA, T. G. R. et al. Desenvolvimento e produtividade de sorgo em função de diferentes densidades de plantas. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 208-215, 2010.

TORRES, T. B. C. F. et al. Caracterização de cultivares de Sorgo Sacarino no Norte de Minas Gerais visando a produção de etanol. **XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, Águas de Lindóia, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85988/1/Caracterizacao-cultivares.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

VIANA R. S. et al. Aplicação de fitorreguladores químicos na qualidade tecnológica do sorgo sacarino CV. Biomatrix 535. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 3, p. 326-334, 2015.

VIANA R. S. et al. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 45, n. 3, p. 204-213, 2017.

VIANA, F. F. Sorgo granífero: práticas para implantação da cultura. **Pioneer sementes**, 2019. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/185/sorgo-granifero-praticas-para-implantacao-da-cultura>>. Acesso em: 19 de julho de 2019.

VIANA, R. S. et al. Trinexapac-ethyl as chemical ripening agent on sweet sorghum crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 221-233, 2019

YOOSUKYINGSATAPORN, S.; DETPIRATMONGKOL, S. Influences of trinexapac-ethyl on development and sugar content of sorghum bicolor. **International Journal of Agricultural Technology**, Southeast Asia, v. 15 n. 6, p. 1053-1062, 2019.