

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

Rodrigo Luiz Ludwig

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO
A REGULADOR DE CRESCIMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA
DAS SEMENTES**

**Santa Maria, RS
2019**

Rodrigo Luiz Ludwig

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A
REGULADOR DE CRESCIMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS
SEMENTES**

Tese apresentada ao curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**

Orientador: Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros

**Santa Maria, RS
2019**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ludwig, Rodrigo Luiz
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A
REGULADOR DE CRESCIMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS
SEMENTES / Rodrigo Luiz Ludwig.- 2019.
73 p.; 30 cm

Orientador: Sandro Luis Petter Medeiros
Coorientadores: Ubirajara Russi Nunes, Vilnei de
Oliveira Dias
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2019

1. Sorghum bicolor 2. Trinexapaque-etílico 3.
Acamamento 4. Sorgo Sacarino 5. Germinação I. Medeiros,
Sandro Luis Petter II. Nunes, Ubirajara Russi III.
Dias, Vilnei de Oliveira IV. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Rodrigo Luiz Ludwig. A reprodução de partes ou de todo este trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Rua Campo Mourão, 1449, Bairro Jardim, CEP: 98200-000 - Ibirubá/RS. Fone: (55) 99658-2682; e-mail: rodrigoluzludwig@gmail.com

Rodrigo Luiz Ludwig

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A
REGULADOR DE CRESCIMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS
SEMENTES**

Tese apresentada ao curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

Aprovado em 27 de setembro de 2019:

Sandro Luis Petter Medeiros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Juçara Terezinha Paranhos, Dra. (UFSM)

Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM)

Andrieli Hedlund Bandeira, Dra. (IFFar)

Gerusa Massuquini Conceição, Dra. (UNIJUÍ)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Gervásio Ludwig e Nerci Inês Royer Ludwig, pelo amor, carinho e ensinamentos a mim passados. À minha irmã, Carine Ludwig pelo incentivo aos estudos e apoio incondicional. À minha namorada Marta E. Machado Alves, pelo amor, carinho e companheirismo em todos momentos. À minha filha, Luiza Ludwig, que veio para iluminar nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

À minha família e namorada, pelo incentivo à realização desse trabalho, pelo apoio e conselhos a mim passados;

Ao professor Dr. Sandro Luis Petter Medeiros, pela orientação, compreensão, dedicação e conhecimentos a mim passados durante a realização desse trabalho;

Ao professor Ubirajara Russi Nunes pelo auxílio na realização do experimento conduzido no laboratório de Sementes da UFSM;

À todos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e do curso de Agronomia pelos ensinamentos passados;

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela qualidade de ensino e estrutura oferecidos durante o curso de graduação, mestrado e doutorado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado;

Ao departamento de fitotecnia da UFSM pelo empréstimo de equipamentos e insumos utilizados na pesquisa;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) campus Ibirubá, pela concessão de área experimental e insumos para realização do experimento de campo;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro) pela doação das sementes utilizadas nos experimentos;

À Universidade Federal do Pampa (Unipampa) campus Alegrete pelo empréstimo de equipamentos utilizados na pesquisa.

RESUMO

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO A REGULADOR DE CRESCIMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

AUTOR: Rodrigo Luiz Ludwig
ORIENTADOR: Sandro Luis Petter Medeiros

A cultura do sorgo sacarino vem ganhando espaço no mercado brasileiro dos biocombustíveis, devido à crescente demanda por energias renováveis. Também, é uma boa alternativa para compensar o período de entressafra da cana-de-açúcar (principal matéria prima do etanol no Brasil), podendo ainda, utilizar a mesma infraestrutura das usinas de cana-de-açúcar. No entanto, a cultura ainda apresenta algumas limitações quanto a sua produção, como por exemplo, altos índices de acamamento, devido seu porte elevado. Frente a isso, a pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho agrônomo de duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a aplicações do redutor de crescimento trinexapaque-etílico em diferentes doses e números de aplicações. Também, objetivou-se verificar a qualidade fisiológica e viabilidade de uso de sementes produzidas pelas plantas de sorgo que receberam as aplicações do regulador de crescimento. Para isto, foram conduzidos dois experimentos, sendo um de campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, campus Ibirubá, nos anos agrícolas 2016/17 e 2017/18, conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento, envolvendo um modelo trifatorial (2 x 6 x 2) com duas cultivares de sorgo sacarino (BRS 506 e Fepagro 19), seis doses do redutor de crescimento, produto comercial (0; 150; 300; 450, 600 e 750 mL.ha⁻¹) e diferentes números de aplicações (uma aplicação em estágio V5 – 5 folhas expandidas, e duas aplicações, sendo uma em V5 e outra em V8 – 8 folhas expandidas) totalizando 24 tratamentos. Foi determinada a estatura das plantas, percentual de acamamento, índice de área foliar, teor relativo de clorofila nas folhas, biomassa das plantas, massa seca de folhas e colmos e Brix do caldo. A aplicação de trinexapaque-etílico ocasionou a redução da estatura e do acamamento de plantas de sorgo sacarino, sem afetar a produtividade de matéria verde. O segundo experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2017, utilizando-se sementes da cultivar BRS 506 oriundas do experimento de campo (safra 2016/17), realizado em delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições por tratamento, envolvendo um modelo fatorial (4 x 2) com quatro doses do redutor de crescimento, produto comercial (0; 150; 450 e 750 mL.ha⁻¹) e dois momentos de aplicação (estádio V5, e V5+V8) totalizando oito tratamentos. Aplicou-se os testes de massa de mil sementes, primeira contagem do teste de germinação, germinação total, emergência em areia, comprimento e massa seca de plântulas, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. Observou-se diminuição da qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino oriundas de plantas que receberam trinexapaque-etílico, principalmente com o aumento do número de aplicações.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Trinexapaque-etílico. Acamamento. Germinação. Vigor.

ABSTRACT

AGRICULTURAL PERFORMANCE OF SACCHARINE SORGHUM SUBMITTED FOR REGULATOR OF GROWTH AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS

AUTHOR: Rodrigo Luiz Ludwig
ADVISER: Sandro Luis Petter Medeiros

Saccharin sorghum crop has been gaining ground in the Brazilian biofuels market, due to the growing demand for renewable energy. In addition, it is a good alternative to compensate for the off-season of sugarcane (main ethanol raw material in Brazil), it can also use the same infrastructure as sugar cane plants. However, the crop still has some limitations on its production, such as high lodging rates due to its large size. In view of this, the present work aimed to evaluate the agronomic performance of two cultivars of saccharin sorghum submitted to trinexapac-ethyl growth reducer applications at different doses and application numbers. Also, the objective was to verify the physiological quality and viability of the use of seeds produced by sorghum plants that received the applications of the growth regulator. For this, two experiments were conducted, one in the field at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul, Ibirubá campus, in the agricultural years 2016/17 and 2017/18, conducted in a randomized block design, with four repetitions per treatment, involving a trifactorial model (2 x 6 x 2) with two cultivars of sorghum (BRS 506 and Fepagro 19), six doses of growth reducer, commercial product (0; 150; 300; 450, 600 and 750 mL.ha⁻¹) and different application numbers (one V5 stage application - 5 expanded sheets, and two applications, one in V5 and one in V8 - 8 expanded sheets) totaling 24 treatments. Plant height, lodging percentage, leaf area index, relative leaf chlorophyll content, plant biomass, leaf and stem dry mass and Brix were determined. The application of trinexapac-ethyl reduced the height and lodging of saccharin sorghum plants without affecting the green matter yield. The second experiment was conducted at the Didactic and Seed Research Laboratory of the Federal University of Santa Maria (UFSM) in 2017, using seeds from cultivar BRS 506 from the field experiment (2016/17 harvest), conducted in a completely randomized design, with eight replications per treatment, involving a factorial model (4 x 2) with four doses of growth reducer, commercial product (0; 150; 450 and 750 mL.ha⁻¹) and two application times (stage V5, and V5 + V8) totaling eight treatments. One thousand seed mass tests, first germination test count, total germination, sand emergence, seedling length and dry mass, electrical conductivity and accelerated aging were applied. There was a decrease in the physiological quality of saccharin sorghum seeds from plants that received trinexapac-ethyl, mainly with the increase of the number of applications.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Trinexapac-ethyl. Lodging. Germination. Vigor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Valores decêndiais de temperatura média do ar e precipitação pluviométrica durante as duas safras de cultivo do sorgo sacarino. Ibirubá, RS, 2019.....	32
Figura 2 – Estatura de plantas de sorgo sacarino submetidas a doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.....	34
Figura 3 – Estatura de plantas de sorgo sacarino submetidas a doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2017/18. Ibirubá RS, 2019.....	35
Figura 4 – Percentual de acamamento do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico. Ibirubá RS, 2019.....	38
Figura 5 – Índice de área foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) de cultivares de sorgo sacarino nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.....	40
Figura 6 – Teor Relativo de Clorofila nas folhas de sorgo sacarino submetido a doses de trinexapaque-etílico nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.....	41
Figura 7 – Massa seca de folhas do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico. Ibirubá RS, 2019.....	43
Figura 8 – Massa seca de colmos do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.....	43
Figura 9 – Teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) do sorgo sacarino submetido a doses de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.....	46
Figura 10 – Massa de mil sementes de sorgo sacarino em diferentes doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	60
Figura 11 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes de primeira contagem do teste de germinação (vigor) e germinação total de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	61
Figura 12 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes envelhecimento acelerado (ENVL) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	63
Figura 13 – Condutividade elétrica (COND, $\mu S.cm^{-1}.g^{-1}$) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	64
Figura 14 – Comprimento total de plântulas (a) e comprimento da parte aérea (b) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	65
Figura 15 – Massa seca total de plântulas (a) e massa seca da parte aérea (b) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância das variáveis estatura de plantas (EP, cm), acamamento (ACA, %), massa de matéria verde (MV, Mg.ha ⁻¹), índice de área foliar (IAF), teor relativo de clorofila total (CLF), massa de matéria seca de folhas (MF, g.planta ⁻¹), massa de matéria seca de colmos (MC, g.planta ⁻¹) e teor de sólidos solúveis totais (°BRIX). Ibirubá, RS, 2019.	33
Tabela 2 – Estatura de plantas de sorgo sacarino nas diferentes cultivares na safra 2016/17 e na interação cultivar x número de aplicações de trinexapaque etílico na safra 2017/18. Ibirubá, RS, 2019.	35
Tabela 3 – Percentual de acamamento em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.	38
Tabela 4 – Produção de Matéria em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.	39
Tabela 5 – Massa de matéria seca de folhas (g.planta ⁻¹) e massa de matéria seca de colmos (g.planta ⁻¹) em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.	42
Tabela 6 – Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas nas safras 2016/17 e 2017/18 e diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.	45
Tabela 7 – Resumo da análise de variância dos resultados da avaliação de qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino produzidas na safra 2016/2017, submetidas a 4 doses de regulador de crescimento, em uma ou duas aplicações. As variáveis massa de mil sementes (MMS, g), emergência de plântulas (EME, %), primeira contagem do teste de germinação (PCONT, %), germinação (GERM, %), envelhecimento acelerado (ENVL, %), condutividade elétrica (COND, µS.cm ⁻¹ .g ⁻¹), comprimento radicular (CR, cm), comprimento de parte aérea (CPA, cm), massa seca radicular (MSR, g), massa seca da parte aérea (MSPA, g), comprimento total de plântulas (CTOT, cm) e massa seca total de plântulas (MSTOT, g). Santa Maria, RS, 2019.	59
Tabela 8 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes de primeira contagem do teste de germinação (PCONT), germinação (GERM) e emergência de plântulas (EME) de sementes de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.	62
Tabela 9 – Comprimento radicular (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento total de plântulas (CTOT), massa seca radicular (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total de plântulas (MSTOT) de sementes de sorgo sacarino em diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.	68

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
A CULTURA DO SORGO SACARINO	13
ACAMAMENTO NA CULTA DO SORGO SACARINO	16
UTILIZAÇÃO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO I - DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO À APLICAÇÕES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO.	26
RESUMO	26
ABSTRACT	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
CAPÍTULO II - QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES PRODUZIDAS PELO SORGO SACARINO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE REDUTOR DE CRESCIMENTO	53
RESUMO	53
ABSTRACT	53
INTRODUÇÃO.....	54
MATERIAL E MÉTODOS.....	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

INTRODUÇÃO

Frente a crescente demanda por energias renováveis e limpas, os biocombustíveis vêm ganhando espaço no cenário mundial como uma alternativa promissora, tendo em vista a incerteza da disponibilidade de fontes não renováveis para a produção de energia no futuro. Dentre os biocombustíveis, se destaca a cadeia produtiva do etanol, sendo a mais eficiente do mundo (DURÃES et al., 2012). No Brasil, o crescimento da frota de veículos do tipo “flex”, foi um dos fatores que influenciou o aumento da demanda do biocombustível no mercado. Segundo a Anfavea (2019) em 2018 cerca de 88 % dos veículos licenciados no Brasil apresentam motor tipo flex.

No Brasil a principal fonte de matéria-prima para a produção de etanol é do tipo açucarado, sendo as mais utilizadas a cana-de-açúcar, sorgo sacarino e beterraba (LOURENÇO et al., 2007). Atualmente a grande maioria da produção de etanol do Brasil provém da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), onde o país se destaca como o maior produtor mundial da cultura, seguido por Índia e China, como também o maior produtor de açúcar e etanol de cana de açúcar. Apesar de pouco mais de 50% da produção estar concentrada em São Paulo, a cultura é cultivada em todas as regiões do país. De um modo geral, o país tem dois calendários de colheita, um para a Região Nordeste, que vai de setembro a abril e outro para o restante do país, de janeiro a maio (CONAB, 2015).

Com o intuito de manter uma produção do biocombustível por um maior período ao longo do ano (entre safra da cana-de-açúcar) além de aumentar o volume produzido, a cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se apresenta como uma alternativa viável, além de poder ser cultivado em locais que talvez o cultivo da cana-de-açúcar não seja recomendado. Dessa maneira, o cultivo de sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar tem potencial para diminuir a ociosidade das máquinas das usinas, visto que os mesmos equipamentos de moagem, fermentação e destilação utilizados na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar podem ser empregados para a fabricação de etanol a partir do sorgo (ALBUQUERQUE et al., 2012).

O potencial de expansão da cultura depende da utilização de tecnologias que permitam o seu cultivo de forma produtiva e rentável. Essa cultura possui a característica morfológica de porte elevado, o que proporciona elevado potencial produtivo de colmos, elevando seu potencial de geração de etanol. No entanto, o elevado porte torna a planta mais suscetível ao acamamento, principalmente no final no ciclo, quando apresenta a panícula já formada, que

com a ação de ventos e chuvas, contribui para o acamamento das plantas. As plantas acamadas, na maioria dos casos não consegue retornar ao seu estado original, e no momento da colheita, acaba por ser deixada no campo, reduzindo a produtividade da área.

Uma alternativa possível para minimizar o acamamento, seria pela redução da estatura das plantas a partir da utilização de reguladores de crescimento vegetal, que possuem efeito de redução do crescimento, como por exemplo, o trinexapaque-etílico, antagonista da giberelina. Muito utilizado na cultura do trigo, esse regulador de crescimento proporciona redução da alongação das células do vegetal, além de redução na taxa de divisão celular. Assim, é preciso conhecer o efeito do produto na cultura do sorgo sacarino, de forma que sua utilização permita a redução da estatura a ponto de minimizar a ocorrência do acamamento, sem que a produção de matéria verde e caldo seja comprometida.

Desta forma, a pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho agrônômico e o percentual de acamamento de duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a aplicações do redutor de crescimento trinexapaque-etílico em diferentes doses e momentos de aplicação. Também, considerando a possibilidade de contaminação do redutor de crescimento aplicado, objetivou-se verificar a qualidade fisiológica e viabilidade de uso de sementes produzidas pelas plantas de sorgo que receberam as aplicações do regulador de crescimento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A CULTURA DO SORGO SACARINO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), cereal originário da África, é classificado como o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do trigo, arroz, cevada e milho (SHEWALE; PANDIT, 2009). O registro mais antigo da planta é de 3000 A.C, no Egito, e as primeiras introduções na América ocorreram no Caribe, trazidas por escravos africanos, e desta região o sorgo atingiu o Sudoeste dos Estados Unidos por volta de 1850, e no Brasil, a cultura apresentou avanço significativo a partir de 1970 (EMBRAPA, 2008). Considerado um alimento básico na África, China e Índia, enquanto nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul é utilizado para a alimentação animal (BELTON; TAYLOR, 2004).

De origem tropical, o sorgo se adapta, com relativa facilidade, a condições existentes entre 30° de latitude norte até 30° de latitude sul, sendo uma planta de clima quente que apresenta mecanismos eficientes de tolerância à seca, possuindo cultivares adaptadas às mais diferentes zonas climáticas (CUNHA; SEVERO FILHO, 2010). A temperatura ótima para crescimento e desenvolvimento do sorgo varia entre 29 °C e 33 °C. Em temperaturas acima de 38 °C e abaixo de 16 °C, a produtividade desse cereal é severamente diminuída (PEREIRA FILHO; RODRIGUES, 2015).

Agronomicamente os sorgos são classificados em 4 grupos: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo/corte verde/fenação/cobertura morta; vassoura. O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo (híbridos e variedades) adaptados à colheita mecânica. O segundo grupo inclui tipos de porte alto (híbridos e variedades) apropriados para confecção de silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo inclui tipos utilizados principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. O quarto grupo inclui tipos de cujas panículas são confeccionadas vassouras (EMBRAPA, 2008).

O sorgo sacarino possui alto potencial forrageiro, apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em açúcares fermentescíveis e pode servir para produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar (DURÃES et al., 2012). Possui alto valor energética tornando-o adequado à produção de biocombustível de todas as partes da planta (colmos, grãos e parte aérea). As cultivares possuem teor de açúcares no colmo de 12 a 18° Brix (REUNIÃO, 2013).

Esse tipo de sorgo apresenta ciclo curto (quatro meses), é totalmente mecanizável, alta produtividade de biomassa verde (60 a 80 Mg.ha⁻¹), com altos rendimentos de etanol (3.000 a 6.000 L.ha⁻¹), com bagaço utilizável como fonte de energia (vapor para industrialização e cogeração de eletricidade) ou forragem para animais, contribuindo para um favorável balanço energético (DURÃES et al., 2012). Além disso, possui rendimento de grãos em torno de 2 a 5 Mg.ha⁻¹ (REUNIÃO, 2013), que apresentam características nutricionais similares às do milho, podendo ser utilizados na alimentação humana ou animal (DURÃES et al., 2012). É uma cultura fácil de generalizar, pois a técnica cultural é semelhante à do milho, exceto no que se refere à colheita dos caules (LOURENÇO et al., 2007).

A característica de ciclo vegetativo curto, sendo ideal para o complemento na produção de etanol durante o período de entressafra da cana de açúcar, ou quando esta ainda se encontra em estado de desenvolvimento vegetativo e possui pouca concentração de açúcares, o que permite ampliar o período de uso das usinas de etanol em três meses (PEREIRA FILHO et al., 2013). Semeaduras realizadas no início do período chuvoso (outubro/novembro) tornam possível a antecipação de 2 a 3 meses do período de moagem das usinas, com colheitas a partir de fevereiro e março, reduzindo, assim, o período de ociosidade das destilarias, que varia de 3 a 5 meses, com impactos na geração de renda (DURÃES et al., 2012). Segundo Barcelos et al. (2011), as usinas de moagem da cana-de-açúcar podem ser utilizadas para o sorgo sem necessitar de grandes ajustes.

Embora a cana-de-açúcar seja forte candidata a suprir as futuras demandas, a cultura apresenta limitações devido suas exigências edafoclimáticas, pois apresenta uma grande demanda hídrica, tendo sua produção afetada quando a disponibilidade de água for baixa. Este recurso não afeta tão significativamente a cultura do sorgo, que consome até nove vezes menos água do que a cana de açúcar (REDDY; REDDY, 2003), tornando-a adaptada a uma gama de ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria dos outros cereais. Esta característica permite que a cultura seja apta para desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão (DINIZ, 2010; RODRIGUES, 2000).

Comparado com outros cereais o sorgo requer menos água para se desenvolver, sendo que, seu período mais crítico à falta de água é o florescimento. O consumo de água pelo sorgo varia entre 380 e 600 mm durante o ciclo da cultura, dependendo principalmente das condições climáticas dominantes (SANS et al., 2003). De uma forma geral, apresenta elevada eficiência de uso de água, sendo necessários, em média, 250 g a 400 g de água para produzir

1g de matéria seca, sendo superior a grande maioria das gramíneas tropicais (TABOSA et al., 1987).

A produtividade da cultura do sorgo é muito menor do que seu potencial produtivo (DURÃES, 2014). Em Portugal, Lourenço et al. (2007) obteve 63 Mg.ha⁻¹ de massa verde de colmos e aproximadamente 10 Mg.ha⁻¹ de folhas e inflorescências. Em Pelotas, RS, a produtividade de colmos variou entre 15 e 40 Mg.ha⁻¹ (EMYGDIO et al., 2010). Já em Santa Maria, Marchezan e Silva (1984) obtiveram valores máximos de 45 Mg.ha⁻¹ de massa verde de colmos. May (2012), a partir de alguns experimentos realizados pela Embrapa, explica que as variedades apresentam superioridade na produção de etanol quando comparadas aos híbridos do mercado e que a produtividade de etanol equivale a 75 L.Mg⁻¹ de biomassa e a produção de álcool acima de 4.325 L.ha⁻¹.

A cultura do sorgo sacarino apresenta porte alto, variando entre 2,2 m a 3 m (REUNIÃO, 2013), porém, dependendo do cultivar pode atingir até 5 m de altura (PARRELLA, 2011), o que a torna suscetível ao acamamento, que dificulta o processo de colheita e reduz o rendimento de biomassa, e conseqüentemente, diminui o volume de caldo e açúcares. A estatura muito elevada da planta pode estar sujeita ao acamamento devido a vários fatores, como a ação de ventos fortes (PEREIRA FILHO et al., 2013). Este problema é responsável pelos aumentos de custos devido ao aumento na mão de obra durante o corte e pelas perdas de biomassa no campo (MOLINA et al., 2000). Estes mesmos autores obtiveram correlação positiva (0,27) entre altura da planta e porcentagens de acamamento, que é extremamente indesejável para a produção eficiente de silagem ou biocombustíveis.

A característica genética de apresentar alta estatura de plantas neste tipo de sorgo é ainda mais agravada quando se utiliza elevadas densidades de semeadura. Segundo Albuquerque et al. (2009), as maiores densidades proporcionaram maiores alturas das plantas, pois as maiores populações propiciaram maior competição intraespecífica por luz e o conseqüente alongamento dos entrenós, devido à dominância apical, deixando as plantas mais altas e com maior susceptibilidade ao tombamento. O genótipo também influencia no percentual de acamamento. Em algumas cultivares o acamamento pode chegar até 55,8% (FLARESSO et al., 2000).

Para a produção de colmos de sorgo sacarino visando a produção de biomassa, seja para fornecimento animal ou para produção de etanol em usinas sucroalcooleiras, a redução do porte da planta está associada à vantagem agrônômica de minimização do acamamento em condições de cultivo de campo (MAY et al., 2013). Como alternativa para este problema,

tem-se a utilização de genótipos que apresentam porte menor e maior resistência ao acamamento, e também a utilização de reguladores de crescimento vegetal.

ACAMAMENTO NA CULTA DO SORGO SACARINO

O acamamento pode ser definido como um estado permanente de modificação da posição do colmo em relação à posição original, o que resulta em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos (PINTHUS, 1973). O acamamento muitas vezes causa a ruptura dos tecidos, o que interrompe a vascularização do colmo e impede a recuperação da planta; afeta a estrutura anatômica essencial para o transporte de água e nutrientes e, quanto mais cedo se manifestar no ciclo de vida da planta, menor serão o rendimento e a qualidade dos grãos (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

O acamamento ocorre em função de características genéticas das cultivares (suscetibilidade), porte da planta, densidade de semeadura, excesso de adubação nitrogenada, entre outros (PHINTUS, 1973). Quando os colmos apenas inclinam e não se dobram, os grãos não sofrem prejuízos, possibilitando assim o processo regular de amadurecimento. Entretanto, se os colmos dobram e quebram, há evidentemente interrupção no movimento dos fotoassimilados, que não podem mais chegar à panícula, redundando em prejuízo não só na qualidade, mas, sobretudo, no peso médio do grão (da SILVA et al., 2006).

Na cultura do sorgo, a maior demanda por fotoassimilados ocorre ao final do estágio de enchimento de grãos, alterando as relações de fonte e dreno da planta. As folhas sozinhas não conseguem satisfazer essa necessidade, e uma mobilização adicional de compostos oriundos do colmo para a panícula torna-se crucial. Enfraquecido, o colmo tende a tombar e/ou quebrar. Ressalta-se que, quanto mais produtivo for o genótipo, maior a probabilidade de tombamento e/ou quebra de seu colmo. Tal condição pode ser agravada quando a planta é exposta ao estresse gerado por situações adversas do ambiente, bem como pelo uso de altas densidades de semeadura (PEREIRA FILHO; RODRIGUES, 2015).

O acamamento é um fenômeno complexo, e sua expressão depende de fatores genéticos, inter-relacionados com fatores do clima, do solo, das práticas culturais adotadas (CRUZ et al., 2003) e de danos causados por pragas e doenças. É uma característica difícil de ser avaliada isoladamente e com precisão, dada a grande interação que existe com o vento, com a chuva e com o solo. Algumas cultivares apresentam menor acamamento, porém as diferenças entre as cultivares tendem a ser obscurecidas por fatores, ambientais, tais como, a densidade de plantas e a fertilidade do solo (NEENAN; SPENCER-SMITH, 1971). Entre os

principais agentes que o promovem, destaca-se o vento e a chuva (EASSON et al., 1993). A chuva aumenta o peso da parte aérea, sobretudo quando os cultivos se encontram na fase reprodutiva e causa, também, o umedecimento do solo, que gera condições favoráveis para o acamamento de raízes, ao diminuir a sua ancoragem. Com a maior umidade do solo, Easson et al. (1993) mencionam que ventos de até 16 km.h⁻¹ são suficientes para provocar o tombamento de plantas de trigo, o que causa maior debilidade das plantas depois da chuva. O acamamento geralmente é mais intenso nos híbridos de maior altura (CORRÊA, 1996).

Algumas práticas de manejo, como a adubação nitrogenada, o arranjo de plantas e a aplicação de redutor de crescimento podem influenciar significativamente o desenvolvimento e o crescimento de plantas e, dessa forma, servir como estratégias para reduzir ou controlar o acamamento, com possíveis efeitos no rendimento e na qualidade de grãos (TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003).

UTILIZAÇÃO DE REDUTORES DE CRESCIMENTO

Os redutores de crescimento são aplicados na parte aérea das plantas com o objetivo de reduzir o desenvolvimento longitudinal indesejável, e conseqüentemente o acamamento, sem ocasionar diminuição na produtividade, o que pode ser a solução desejada por aqueles envolvidos com o cultivo do sorgo sacarino (RADEMACHER, 2000). É uma das tecnologias que tem sido indicada para reduzir a altura de plantas, evitando o acamamento em culturas, tais como, o trigo e o sorgo, e também é recomendado para aplicação na cultura da cana-de-açúcar, visando a aceleração dos processos de maturação da planta e acúmulo de sacarose no colmo.

As giberelinas são bem conhecidas pelos seus efeitos na promoção do alongamento do caule. No entanto, estas podem influenciar um grande número de processos do desenvolvimento vegetal, como por exemplo, a promoção da germinação de sementes. (TAIZ e ZEIGER, 2013). O crescimento do vegetal é estimulado pelo aumento da extensibilidade da parede celular (RAVEN et al., 1992). Segundo MacMillan (2002) pelo menos 136 giberelinas de ocorrência natural foram identificadas.

Aplicações de retardantes inibidores de giberelina podem aumentar o rendimento pela redução do acamamento da cultura, em condições e cultivares em que esse problema é sério. Além dos caules mais curtos e grossos nas plantas tratadas, o crescimento radicular pode ser mais vigoroso, e as folhas podem se tornar mais curtas, largas e horizontais (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008). Os diferentes tipos de reguladores vegetais agem inibindo a rota

comum de síntese de todos os ácidos giberélicos sintetizados pelos vegetais superiores, em diferentes locais (ARTECA, 1995). Esses reguladores proporcionam redução da alongação das células do vegetal, além de redução na taxa de divisão celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dentre os reguladores que inibem giberelinas, destaca-se o trinexapaque-etílico, que inibe a biossíntese do ácido giberélico, ocasionando redução do crescimento, em razão da menor alongação celular (AMREIN et al., 1989; FAGERNESS; PENNER, 1998; LAMAS, 2001). Este regulador de crescimento atua nas plantas reduzindo a alongação celular no estágio vegetativo, interferindo no final da rota metabólica da biossíntese do ácido giberélico pela inibição da enzima 3- β -hidroxilase, reduzindo a síntese de giberelinas de alta eficiência biológica como GA1, GA3, GA4, GA7, GA9, GA20, dentre outros. Desta forma, em função da ação desse composto, as plantas têm dificuldade de formação dessas giberelinas ativas e passam a sintetizar e acumular giberelina biologicamente menos eficientes como GA8, GA17, GA19, GA24, dentre outros, o que leva, na prática, à redução no alongamento celular (crescimento), sem causar deformação morfológica do caule (NAQVI, 1994; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os reguladores de crescimento atuam alterando a morfologia e a fisiologia da planta, considerando as mudanças quantitativas e qualitativas que podem ocorrer durante o cultivo. Podem também promover uma diminuição no crescimento das plantas, aumentando assim o teor de sacarose, bem como plantas de maturação precoce e aumentando a produtividade de sacarose em caule (CAPUTO et al., 2008). Os efeitos dos reguladores vegetais têm sido inconsistentes em algumas situações. Verifica-se aumento de produtividade, enquanto, em outras, redução dela (ALVAREZ et al., 2007). Por isso, estudos com a utilização de reguladores devem ser conduzidos de forma a encontrar a quantidade correta de produto a ser utilizado, bem como o momento de sua utilização, a fim de obter os benefícios desejados. O efeito e a sua duração dependem de vários fatores, como dose aplicada e estágio de aplicação (HECKMAN et al., 2002), época de semeadura, condições do ambiente, estado nutricional e fitossanitário da planta (RODRIGUES et al, 2003).

Na cultura do sorgo sacarino, a produção de colmos visando a produção de biomassa, seja para fornecimento animal ou para produção de etanol em usinas sucroalcooleiras, a redução do porte da planta está associada à vantagem agrônômica de minimização do acamamento em condições de cultivo de campo, porém, altas doses do trinexapaque-etílico resultam em reduções drásticas do porte das plantas, diminuindo a produção de massa de colmos por planta (MAY et al., 2013). Essa redução excessiva do porte também é desvantajosa, porque induz ao aumento do auto sombreamento. Portanto, a planta deve ter um

porte intermediário para resistir ao acamamento e apresentar menor auto sombreamento (FAGERIA, 1989).

Outra vantagem da redução do porte das plantas é no momento da colheita das sementes, facilitando sua produção através de processos mecanizados de colheita. A busca por plantas mais baixas é ponto importante, pois, além de reduzir o acamamento, facilita a trilha de sementes nas colhedoras por causa da menor massa de colmos e folhas associada a plantas com menor porte, decorrentes da aplicação de reguladores de crescimento (MAY et al., 2013). No entanto, a viabilidade destas sementes pode ser comprometida devido à ação do regulador de crescimento. De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o processo de germinação de sementes de várias espécies exige giberelinas para ativar o crescimento do embrião. E, segundo Swain e Singh (2005), a inibição da síntese de giberelinas nas sementes pode afetar negativamente sua germinação.

A redução de estatura das plantas pode ser observada em várias culturas, como na cevada (TATNELL, 1995), no sorgo sacarino (MAY et al., 2013), no arroz (ALVAREZ, 2003), na soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008), na cana-de-açúcar (FARIA et al., 2015), na crotalária (KAPPES et al., 2011) e no trigo (LOZANO; LEADEN, 2001), SCHWERZ et al. (2012) sem afetar a produtividade (MARTINS, 2012). SOUZA et al., (2013) observou redução na estatura de plantas de soja, porém a produtividade também foi reduzida em 12% se comparada com a testemunha. Reduções do comprimento dos entrenós de trigo foram observados por Zagonel e Fernandes (2007); Schwerz et al. (2012). Os colmos mais curtos, também facilitam a respiração do vegetal e aumentam o aproveitamento dos produtos fotossintéticos, portanto, interferem no equilíbrio fotossíntese-respiração (FAGERIA, 1989).

Viana et al. (2016) avaliando alterações morfológicas nas plantas de sorgo sacarino, observaram que o trinexapaque-etílico, em doses de $0,8 \text{ L.ha}^{-1}$, apresentaram valores de espessura da epiderme adaxial, epiderme abaxial, diâmetro do esclerênquima, diâmetro dos vasos floemáticos, diâmetro dos vasos xilemáticos e espessura do mesófilo foliar aos 44 dias após aplicação superiores em relação a testemunha sem aplicação de regulador de crescimento.

O emprego de fitorreguladores químicos pode ser uma importante ferramenta na obtenção de melhores características tecnológicas devido a ação dos produtos que são aplicados com a finalidade de antecipar o processo de maturação (SILVA; SEGATO, 2011). Além disso, promovem melhorias na qualidade da matéria-prima a ser processada, aperfeiçoam os resultados agroindustriais e econômicos, além de auxiliar no planejamento da safra, permitindo maior eficiência no manejo da cultura (VIANA et al., 2015). Estes autores,

com a utilização do regulador trinexapaque-etílico na cultura do sorgo, encontraram aumentos nos parâmetros tecnológicos Brix (% caldo), Pol (% caldo), ATR (açúcar teórico recuperável), Fibra (%), Pureza e ART (açúcares redutores totais), quando comparados com a testemunha sem aplicação de redutor de crescimento.

Na cultura da cana de açúcar o trinexapaque-etílico é utilizado, no final de safra, para promover incrementos no teor de sacarose nos entrenós, antecipar a maturação e aumentar a produtividade de açúcar (CASTRO, 1999). Faria et al. (2015), utilizando o regulador de crescimento durante o ciclo da cultura (120, 200 e 240 dias após a brotação) observou que a aplicação desse regulador de crescimento reduziu o número e a distância entre gemas, a altura, o volume radicular e a produtividade da cana-de-açúcar. A aplicação sequencial (duas ou três vezes) promoveu incremento no diâmetro do caule, e três aplicações do produto aumentaram o número de perfilhos das plantas.

Na cultura do arroz irrigado, o trinexapaque-etílico apresenta viabilidade de uso nas doses de 200 mL.ha⁻¹, reduzindo o acamamento de plantas, sem interferir negativamente nos componentes do rendimento e na fenologia das plantas. Porém, em doses de 400 e 600 mL.ha⁻¹, reduz o acamamento de plantas, mas atrasa seu ciclo biológico e o número de dias para a floração, interferindo negativamente nos componentes do rendimento e na qualidade de grãos colhidos, aumentando o percentual de grãos quebrados e reduzindo o percentual de grãos inteiros e o rendimento de grãos colhidos (ESTEVO, 2013).

Além disso, tem-se notado outros efeitos benéficos do uso de reguladores de crescimento na cultura do trigo, que mesmo na ausência de acamamento, apresentou mudança na arquitetura das plantas e na concentração de clorofila nas folhas (PENCKOWSKI; FERNANDES, 2010), melhor distribuição de fotoassimilados e redução da área foliar de trigo, porém sem redução da fotossíntese (LOZANO; LEADEN, 2001). Na avaliação da quantidade de fibras no colmo em uma cultivar de trigo com e sem aplicação do redutor, concluiu-se que a lignina e a hemicelulose não sofreram alterações significativas e que a porcentagem de celulose nas plantas tratadas com o regulador era superior as não tratadas (PENCKOWSKI; FERNANDES, 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Composição da matéria seca do Sorgo Forrageiro em diferentes arranjos de plantas no Semi-Árido de Minas Gerais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 2, 2009.

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.

ALVAREZ, R. C. A. **Absorção, distribuição e redistribuição de nitrogênio (¹⁵N) em cultivares de arroz de terras altas em função da aplicação de reguladores vegetais**. 2003. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2003.

ALVAREZ, R. C. F. et al. Influência do etil-trinexapac no acúmulo, na distribuição de nitrogênio (¹⁵N) e na massa de grãos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1487-1496, 2007.

AMREIN, J.; RUFENER, M.; QUADRANTI, M. The uses of CGA 163'935 as a growth regulator in cereals and oilseed rape. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE: WEEDS, 1989, Brighton. **Proceedings...** Surrey: BCPC, 1989. p. 2-12.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>. Acesso em 01/12/2019.

ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1995, 356 p.

BARCELOS, C. A. et al. Ethanol production from sorghum grains [*Sorghum bicolor* (L.) moench]: evaluation of the enzymatic hydrolysis and the hydrolysate fermentability. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 28, n. 04, p. 597-604, 2011.

BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. Sorghum and millets: protein sources for Africa. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 94-98, 2004.

CAPUTO, M. M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v. 67, p. 15-23, 2008.

CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. **Saccharum**, v. 1, p. 12-16, 1999.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: Cana de açúcar**. Primeiro levantamento, abril de 2015 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, V. 2, N. 1, 2015.

CORRÊA, C. E. S. **Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em diferentes estádios de maturação**. 1996. 121 p. Dissertação (Mestrado) Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte, MG, 1996.

CRUZ, P. J. et al. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociências**, v. 9, p. 5-8, 2003.

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

DA SILVA, J. A. G. et al. Correlação de acamamento com rendimento de grãos e outros caracteres de interesse agrônomo em plantas de trigo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 756-764, 2006.

DINIZ, G. M. M. **Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) - Aspectos Gerais**. 2010. 23 p. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2010.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2012.

DURÃES, N. N. L. **Heterose em sorgo sacarino**. 2014. 97 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

EASSON, D. L.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 121, p. 145-156, 1993.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Milho e Sorgo. **Sistemas de produção: cultivo do sorgo**. Sete Lagoas, 2008. Disponível em: <http://www.cnpmis.embrapa.br/publicacoes/sorgo_1_ed/index.htm>. Acesso em: 06 de maio de 2015.

EMYGDIO, B.M. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino**. 2010. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/sorgo/index.htm>. Acesso em: 02 de jun. de 2015.

ESTEVO, A. P. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl em cultivares de arroz irrigado**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425p.

FAGERNESS, M. J.; PENNER, D. 14 C-Trinexapac-ethyl absortionad translocation in Kentucky bluegrass. **Crop Science**, v. 38, p. 1023-1027, 1998.

FARIA, A. T. et al. Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 491-497, 2015.

FLARESSO, J. A.; GROSS, C. D.; ALMEIDA, E. X. Cultivares de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1608-1615, 2000.

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

KAPPES, C. et al. Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 508-518, 2011.

LAMAS, F. M. Reguladores de crescimento. In: **ALGODÃO: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 238-244, 2001.

LINZMEYER JUNIOR, R. et al. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy, Maringá**, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LOURENÇO, M. E. V. et al. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2007.

LOZANO, C. M.; LEADEN, M. I. **Novedades sobre el uso de reguladores de crecimiento en trigo**. Jornadas de actualización profesional: Trigo 2001, p. 34-35, 2001.

MACMILLAN, J. Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi and bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**. V. 20, p. 387-442, 2002.

MARCHEZAN, E.; SILVA, M. I. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 14, p. 161-172, 1984.

MARTINS, L. M. **Épocas de aplicação de regulador de crescimento e de sombreamento artificial afetando cultivares de trigo**. 2012. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2012.

MAY, A. et al. **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRSIG – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. 2012.

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

MOLINA, L. R. et al. Avaliação agrônômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 4, Belo Horizonte, MG, 2000.

NAQVI, S. S. M. Plant growth hormones: growth promoters and inhibitors. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, p. 527-556, 1994.

NEENAN, M.; SPENCER-SMITH, J. L. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**, v. 81, p. 495-507, 1971.

- PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético de sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 13-15, 2011.
- PENCKOWSKI, L. H.; FERNANDES, E. C. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: aspectos importantes para garantir bons resultados**. 3. ed., Castro, Fundação ABC, 2010, 68 p.
- PEREIRA FILHO, I. A. et al. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.
- PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Brasília, DF. Embrapa, 2015. 327 p.
- PINTHUS, M. J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, v. 25, n. 1, p. 208-263, 1973.
- RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-531, 2000.
- RAVEN, P. H. et al. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
- REDDY, B. V. S.; REDDY, P. S. Sweet sorghum: characteristics and potential. **International Sorghum and Millets Newsletter**, v. 44, p. 26-28, 2003.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO (LVIII) E REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE SORGO (XLI), Pelotas, RS, 2013. Indicações **técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- RODRIGUES, J. A. S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS – TEMAS EM EVIDÊNCIA, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, p. 179-236, 2000.
- RODRIGUES, O. et al. **Redutores de crescimento**. (Circular Técnica nº 14). Passo Fundo: Embrapa, 2003.
- SANS, L. M. A.; A. V. de C. DE MORAIS; D. P. GUIMARÃES. **Época de plantio de sorgo**. (Comunicado Técnico). MAPA. Sete Lagoas. 2003.
- SCHWERZ, L. et al. Uso de regulador de crescimento na cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) sob diferentes densidades de semeadura. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, 2012.
- SHEWALE, S. D.; PANDIT, A. B. Enzymatic production of glucose from different qualities of grain sorghum and application of ultrasound to enhance the yield. **Carbohydrate Research**, v. 344, p. 52-60, 2009.

SILVA, R. F. S.; SEGATO, S. V. Importância do uso de maturadores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v. 8, n. 2, p. 35-46, 2011.

SOUZA; C. A. et al. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

SWAIN, S. M.; SINGH, D. P. Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. **Trend Plants Science**, London, v. 10, p. 123-129, 2005.

TABOSA, J. N. et al. Water use efficiency in sorghum and corn cultivars under field conditions. **Sorghum Newsletter**, v. 30, p. 91-92, 1987.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TATNELL, J. A. The relationship between height reduction, lodging control and yield in winter barley following use of trinexapac-ethyl. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE WEEDS. 1995, Brighton. **Proceedings...** Farnham: BCPC, 1995. v. 2, p. 635-640.

TEIXEIRA, M. C. C.; RODRIGUES, O. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Embrapa: Passo Fundo, RS, boletim de pesquisa e desenvolvimento n. 20, 2003.

VIANA, R. da S. et al. Morpho-anatomical aspects and technological quality of saccharine sorghum submitted to plant regulators. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 2, p. 175-183, 2016.

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

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agrônômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1001-1016, 1991.

CAPÍTULO I - DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO SACARINO SUBMETIDO À APLICAÇÕES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO.

RESUMO – A cultura do sorgo sacarino apresenta-se como uma alternativa viável para a produção de etanol, no entanto, apresenta algumas limitações quanto a sua produção, como por exemplo, altos índices de acamamento, devido seu porte elevado. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho agronômico de duas cultivares de sorgo sacarino quanto a aplicação de trinexapaque-etílico em diferentes doses e números de aplicações, e assim, verificar a possibilidade de este ser uma alternativa viável para evitar o acamamento das plantas do sorgo sacarino. Um experimento foi conduzido a campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, campus Ibirubá, nos anos agrícolas 2016/17 e 2017/18, conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento, envolvendo um modelo trifatorial (2 x 6 x 2) com duas cultivares de sorgo sacarino (BRS 506 e Fepagro 19), seis doses do redutor de crescimento, produto comercial (0; 150; 300; 450, 600 e 750 mL.ha⁻¹) e diferentes números de aplicações (uma aplicação em estágio V5 – 5 folhas expandidas, e duas aplicações, sendo uma em V5 e outra em V8 – 8 folhas expandidas) totalizando 24 tratamentos. Foi avaliada a estatura das plantas, percentual de acamamento, produtividade de matéria verde, massa seca de folhas e colmos, área foliar, teor relativo de clorofila nas folhas e Brix do caldo. A aplicação de trinexapaque-etílico ocasionou a redução da estatura e do acamamento de plantas de sorgo sacarino, sem afetar a produtividade de matéria verde. A aplicação do regulador de crescimento é uma ferramenta vantajosa, principalmente em cultivares de porte mais elevado e com maior suscetibilidade ao acamamento, como a Fepagro 19.

Palavras chave: *Sorghum bicolor*, trinexapaque-etílico, acamamento, estatura de plantas.

CHAPTER I - AGRICULTURAL PERFORMANCE OF THE SACARINE SORGHUM SUBMITTED FOR GROWTH REGULATOR APPLICATIONS.

ABSTRACT – Saccharin sorghum culture is a viable alternative for ethanol production, however, there are some limitations in its production, such as high lodging rates, due to its large size. Thus, the objective of the research was to evaluate the agronomic performance of two cultivars of sorghum regarding the application of trinexapac-ethyl at different doses and application numbers, and thus to verify the possibility of this being a viable alternative to avoid the lodging of saccharin sorghum plants. An experiment was conducted in the field at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul, campus Ibirubá, in the agricultural years 2016/17 and 2017/18, conducted in a randomized block design, with four replications per treatment, involving a trifactorial model (2 x 6 x 2) with two cultivars of sorghum (BRS 506 and Fepagro 19), six doses of growth reducer, commercial product (0; 150; 300; 450, 600 and 750 mL.ha⁻¹) and different application numbers (one V5 stage application - 5 expanded sheets, and two applications, one in V5 and one in V8 - 8 expanded sheets) totaling 24 treatments. Plant height, lodging percentage, green matter yield, dry mass of leaves and stems, leaf area index, relative chlorophyll content of leaves and brix of the juice were evaluated. The application of trinexapac-ethyl reduced the height and lodging of saccharin sorghum plants without affecting the green matter yield. The application

of growth regulator is an advantageous tool, especially in larger cultivars with greater susceptibility to lodging, such as Fepagro 19.

Keywords: *Sorghum bicolor*, trinexapac-ethyl, lodging, plant height.

INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta porte alto, e dependendo da cultivar pode atingir até 5 m de altura (PARRELLA, 2011), favorecendo a ocorrência de acamamento, o que dificulta o processo de colheita, reduz o rendimento de biomassa, e conseqüentemente, diminui o volume de caldo e açúcares. De acordo com Pereira Filho et al. (2013), a planta com estatura muito elevada pode estar sujeita ao acamamento devido a vários fatores, como a ação de ventos fortes.

O acamamento é definido como um estado permanente de modificação da posição do colmo em relação à posição original, o que resulta em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos (PINTHUS, 1973). Muitas vezes causa a ruptura dos tecidos, o que interrompe a vascularização do colmo e impede a recuperação da planta, afetando a estrutura anatômica essencial para o transporte de água e nutrientes e, quanto mais cedo se manifestar no ciclo de vida da planta, menor serão o rendimento e a qualidade dos grãos (ZANATTA; OERLECKE, 1991). Ainda, este problema é responsável pelos aumentos de custos devido ao aumento na mão de obra durante o corte e pelas perdas de biomassa no campo (MOLINA et al., 2000).

A característica genética de apresentar alta estatura de plantas neste tipo de sorgo pode ser ainda mais agravada em algumas cultivares (FLARESSO et al., 2000) ou quando se utiliza elevadas densidades de semeadura (ALBUQUERQUE et al., 2009). Para a produção de colmos de sorgo sacarino visando a produção de biomassa, seja para fornecimento animal ou para produção de etanol em usinas sucroalcooleiras, a redução do porte da planta está associada à vantagem agrônômica de minimização do acamamento em condições de cultivo de campo (MAY et al., 2013a).

A utilização de reguladores de crescimento pode constituir uma alternativa para diminuir a ocorrência deste problema (CARVALHO et al., 2012). Os reguladores vegetais são compostos sintéticos aplicados sobre as plantas, alteram seu balanço hormonal (LAMAS, 2001) e desencadeiam uma série de alterações celulares, as quais podem afetar a iniciação ou

modificação do desenvolvimento de tecidos ou órgãos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013) para obtenção de diversos efeitos, tais como o de promover, retardar ou inibir o crescimento vegetativo, sem diminuição da produtividade (RADEMACHER, 2000). Aquelas substâncias que reduzem o porte da planta são, em geral, antagonistas da giberelina (RODRIGUES et al., 2003).

Sabe-se que o ácido giberélico pode funcionar como regulador da divisão e alongamento das células (TAKAHASHI et al., 1988), estimulando assim, o crescimento do vegetal pelo aumento da extensibilidade da parede celular (RAVEN et al., 1992, TAIZ; ZEIGER, 2013). Os diferentes tipos de reguladores vegetais agem inibindo a rota comum de síntese de todos os ácidos giberélicos sintetizados pelos vegetais superiores, em diferentes locais, sendo que, foram isoladas mais de 136 giberelinas (MACMILLAN, 2002). Esses reguladores proporcionam redução da elongação das células do vegetal, além de redução na taxa de divisão celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dentre os reguladores que inibem giberelinas, destaca-se o composto sintético trinexapaque-etílico, que inibe a biossíntese do ácido giberélico, ocasionando redução do crescimento, em razão da menor elongação celular (AMREIN et al., 1989; FAGERNESS; PENNER, 1998; LAMAS, 2001). Este regulador de crescimento atua nas plantas reduzindo a elongação celular no estágio vegetativo, interferindo no final da rota metabólica da biossíntese do ácido giberélico pela inibição da enzima 3- β -hidroxilase, reduzindo a síntese de giberelinas de alta eficiência biológica e acumulando giberelinas biologicamente menos eficientes como (NAQVI, 1994; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A redução de estatura das plantas pode ser observada em várias culturas, como na cevada (TATNELL, 1995), no sorgo sacarino (MAY et al., 2013), no arroz (ALVAREZ, 2003), na soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008), na cana-de-açúcar (FARIA et al., 2015), na crotalária (KAPPES et al., 2011) e no trigo (LOZANO; LEADEN, 2001), SCHWERZ et al. (2012) sem afetar a produtividade (MARTINS, 2012). No entanto, SOUZA et al., (2013) observou redução na estatura de plantas de soja, porém a produtividade também foi reduzida em 12% se comparada com a testemunha. Reduções do comprimento dos entrenós de trigo foram observados por Zagonel e Fernandes (2007); Schwerz et al. (2012).

Os efeitos dos reguladores vegetais têm sido inconsistentes em algumas situações. Verifica-se aumento de produtividade, enquanto, em outras, redução dela (ALVAREZ et al., 2007). Por isso, estudos com a utilização de reguladores devem ser conduzidos de forma a encontrar a quantidade correta de produto a ser utilizado, bem como o momento de sua utilização, a fim de obter os benefícios desejados. O efeito e a sua duração dependem de

vários fatores, como dose aplicada e estágio de aplicação (HECKMAN et al., 2002), época de semeadura, condições do ambiente, estado nutricional e fitossanitário da planta (RODRIGUES et al., 2003).

Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho agrônômico de duas cultivares de sorgo sacarino quanto à aplicação de trinexapaque-etílico em diferentes doses e número de aplicações, e assim, verificar a possibilidade de este ser uma alternativa viável para evitar ou minimizar o acamamento das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), campus Ibirubá - RS, nos anos agrícolas 2016/17 e 2017/18. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo “Cfa”, subtropical úmido, tendo temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1826 mm (MORENO, 1961). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Alumino férrico típico, conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006).

O delineamento experimental usado foi o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições por tratamento envolvendo um modelo trifatorial (2 x 6 x 2) com os fatores cultivar, doses do regulador de crescimento e momento da aplicação. O experimento foi composto por duas cultivares de sorgo sacarino (BRS 506 e Fepagro 19), seis doses de redutor de crescimento (0; 150; 300; 450, 600 e 750 mL.ha⁻¹ de produto comercial) composto por trinexapaque-etílico na concentração de 250 g.L⁻¹ e diferentes números de aplicação (uma aplicação em estágio V5 – 5 folhas expandidas, e duas aplicações, sendo uma em V5 e outra em V8 – 8 folhas expandidas) totalizando 24 tratamentos e 96 unidades experimentais.

O sistema de cultivo utilizado foi o direto. Foi realizada análise de solo para subsidiar a calagem e adubação a ser aplicada, de acordo com as indicações da COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004). As parcelas foram compostas por quatro fileiras de 6,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,7 m entre fileiras, totalizando uma área de 16,8 m². A semeadura foi realizada em meados do mês de novembro de cada ano, de forma manual, com a distribuição uniforme de 30 sementes por metro linear, a uma profundidade de aproximadamente dois cm. Cerca de dez dias após a emergência realizou-se

o desbaste, deixando dez plantas por metro linear, correspondendo um estande de 140.000 plantas.ha⁻¹.

O regulador de crescimento foi aplicado sobre as plantas com o auxílio de pulverizador costal com pressão e vazão constantes, utilizando um volume de calda de 150 L.ha⁻¹. A primeira aplicação ocorreu quando as plantas apresentavam cinco folhas totalmente expandidas, e a segunda com oito, o que corresponde aos estádios 2 (Lígula da quinta folha visível) e 3 (Diferenciação do ponto de crescimento) conforme a escala fenológica de Vanderlip e Reeves (1972). Durante o ciclo da cultura, houve necessidade de controle de plantas daninhas, principalmente o papuã (*Brachiaria plantaginea*) com herbicidas a base de Atrazina e com capinas manuais. Também, foi necessário o controle de pragas, principalmente a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e a vaquinha verde amarela (*Diabrotica speciosa*).

Foram demarcadas três plantas nas duas linhas centrais de cada parcela, e no período do florescimento da cultura, se realizou as medidas de estatura de plantas, índice de área foliar, massa seca de folhas e colmos. As plantas foram cortadas próximas ao solo, e levadas ao laboratório, onde se determinou a estatura, compreendendo a medida da base do solo até a ponta da panícula. A área foliar foi determinado com auxílio do medidor portátil LI-3000C, da marca LI-COR, e fornece resolução de 1,0 mm², e posteriormente foi calculado o Índice de Área Foliar (IAF, m² de superfície foliar por m² de solo). Em seguida, estratificou-se as plantas em folhas, colmos e espigas, e o material foi acondicionado em sacos de papel e levado para estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 65°C, por 72 horas. Após seco, o material foi colocado em balança eletrônica com precisão de 0,1 grama para determinação da massa seca de folhas e colmos.

No período de florescimento da cultura, foram determinados os teores relativos de clorofila em dez plantas de cada unidade experimental. Devido a elevada estatura das plantas neste momento, as aferições foram realizadas na folha bandeira-2, ou seja, duas folhas abaixo da folha bandeira, na porção mediana da folha, utilizando um medidor eletrônico de teor de clorofila (CLOROFILOG CFL1030) da marca Falker.

Precedendo a colheita, foi realizada a contagem do número de colmos acamados e não acamados em três metros lineares de cada parcela, posteriormente convertidos para percentual de plantas acamadas por hectare. A colheita foi realizada quando as plantas atingiram o estágio de grão farináceo-duro. Em três metros lineares de cada parcela, as plantas foram cortadas a uma altura de aproximadamente 5,0 cm do solo e determinou-se a massa fresca das mesmas com auxílio de balança digital com precisão de 0,1 grama, e posteriormente os

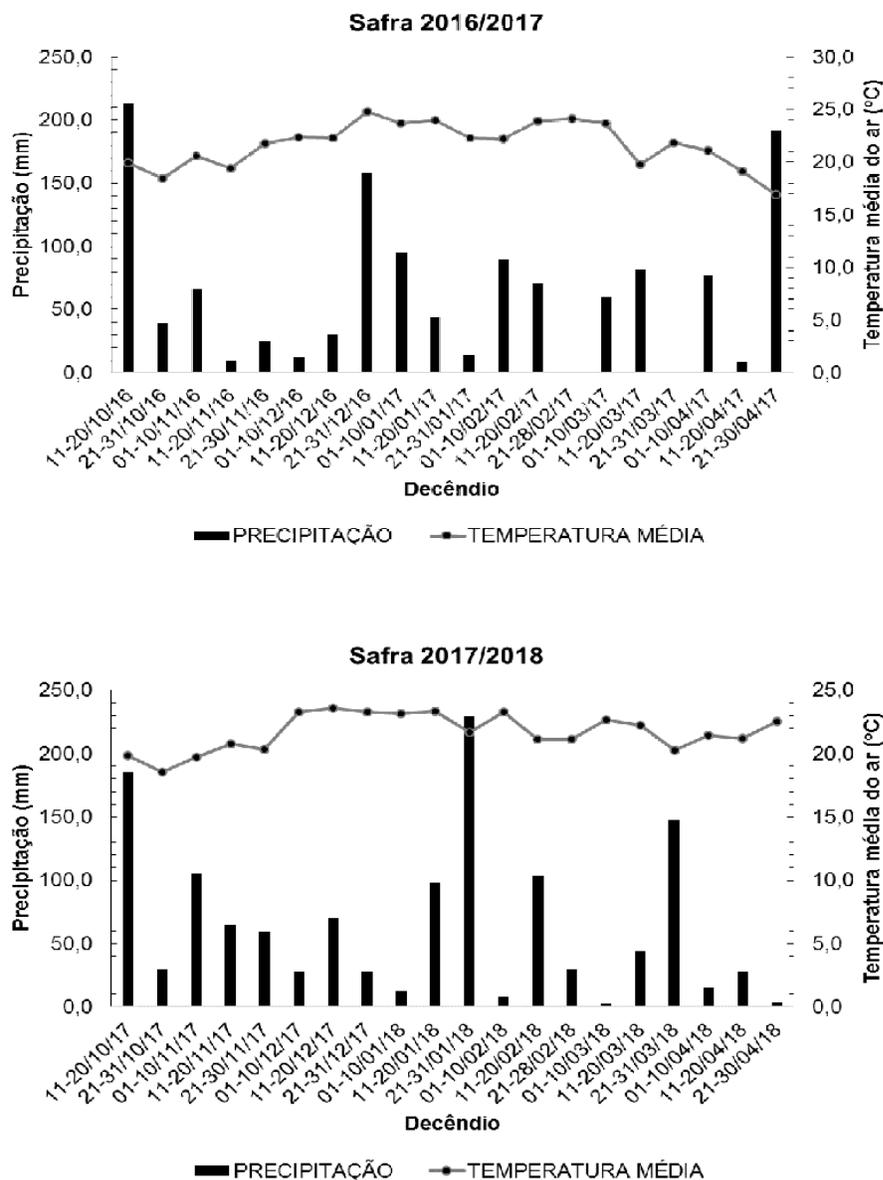
valores foram convertidos para megagrama por hectare ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Deste total de plantas cortadas, foram retiradas aleatoriamente cinco plantas, que foram despalhadas e os colmos prensados em engenho para retirada do caldo, e posterior determinação do °brix (teor de sólidos solúveis por cento, em massa, de caldo) com refratômetro digital, de leitura automática.

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias. Em seguida, a análise de variância foi realizada pelo teste F ($p \leq 0,05$) e posteriormente as variáveis que obtiveram significância foram desdobradas para o estudo da interação ou de efeitos principais pelo teste de Skott-Knott para os fatores qualitativos e regressão para os quantitativos ($p \leq 0,05$). O software utilizado para as análises foi o Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sorgo é uma planta de clima quente, apresentando características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca (RODRIGUES, 2012), com boa adaptação a uma gama de ambientes. O sorgo requer menos água para se desenvolver, quando comparado a outros cereais, variando seu consumo entre 380 e 600 mm durante o ciclo da cultura, dependendo principalmente das condições climáticas dominantes (SANS et al., 2003). Os dados climáticos do local do experimento foram obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação automática de Ibirubá, que se localiza a cerca de 100 metros do local de realização do experimento. Na figura 01 estão ilustrados os valores de temperatura média do ar e precipitação em cada decêndio do ciclo de cultivo de cada safra do experimento no campo. A temperatura média no período foi de 22,5 e 22,1 °C, para as safras 16/17 e 17/18, respectivamente, situando-se dentro do estabelecido pela literatura como favorável ao desenvolvimento da cultura. Quanto a precipitação, esta foi bem distribuída ao longo do ciclo da cultura, totalizando 768 e 942 mm para as safras 16/17 e 17/18, respectivamente, satisfazendo as necessidades hídricas do sorgo, que, segundo Albuquerque et al., (2011) é de 500 mm. No entanto, no primeiro ano do experimento, logo após a emergência das plântulas, houve uma pequena restrição hídrica (10/11 a 20/12), o que tornou o crescimento inicial das plantas um pouco mais lento. Na sequência, houve um período com elevada precipitação (21/12 a 10/01), com vários dias de baixa luminosidade, o que também restringiu o crescimento das plantas.

Figura 1 – Valores decêndiais de temperatura média do ar e precipitação pluviométrica durante as duas safras de cultivo do sorgo sacarino. Ibirubá, RS, 2019.



Fonte: Autor.

Houve interação dupla entre dose de trinexapaque-etílico e número de aplicações para a estatura de plantas (EP) em ambos os anos de cultivo e interação entre cultivar e número de aplicações para o segundo ano, enquanto no primeiro, o fator dose do regulador se mostrou significativo. Para a variável acamamento de plantas (ACA) na safra 2016/17 a interação entre cultivar e número de aplicações foi significativa, enquanto para as demais variáveis, apenas os efeitos principais dos fatores dose e/ou número de aplicações foram significativos

peelo teste F a 5 % de probabilidade. No entanto, para o diâmetro do colmo, não houve efeitos significativos dos tratamentos aplicados (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância das variáveis estatura de plantas (EP, cm), acamamento (ACA, %), massa de matéria verde (MV, Mg.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF), teor relativo de clorofila total (CLF), massa de matéria seca de folhas (MF, g.planta⁻¹), massa de matéria seca de colmos (MC, g.planta⁻¹) e teor de sólidos solúveis totais (°BRIX). Ibirubá, RS, 2019.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios							
		-----EP-----		-----ACA-----		-----MV-----		-----IAF-----	
		2016/17	2017/18	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18
Bloco	3	1381,75 ^{ns}	336,94 ^{ns}	45,33 ^{ns}	438,24 ^{ns}	406,22 ^{ns}	73,31 ^{ns}	0,17 ^{ns}	4,52*
Cultivar (C)	1	47407,41*	8556,67*	365,72*	3671,16*	2581,15*	5147,78*	2,74*	6,62*
Dose (D)	5	7203,55*	13201,03 ^{ns}	28,93 ^{ns}	1189,03*	306,31 ^{ns}	37,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Número de aplicações (NA)	5	11079,67*	21350,72*	275,24*	4693,64*	15,10 ^{ns}	213,62 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,20 ^{ns}
C * D	1	242,01 ^{ns}	303,01 ^{ns}	21,24 ^{ns}	95,16 ^{ns}	97,86 ^{ns}	110,83 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,47 ^{ns}
C * NA	5	1779,63 ^{ns}	1064,44*	176,18*	652,82 ^{ns}	305,87 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
D * NA	5	2077,14*	1510,51*	18,64 ^{ns}	17,16 ^{ns}	124,91 ^{ns}	31,03 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,10 ^{ns}
C * D * NA	5	447,77 ^{ns}	82,90 ^{ns}	14,30 ^{ns}	44,61 ^{ns}	43,87 ^{ns}	51,9 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Erro	69	648,35	192,56	22,74	406,31	150,70	96,90	0,65	0,22
CV %		9,71	4,73	208,2	131,24	17,41	15,23	19,72	11,61
Média Geral		262,13	293,27	2,29	15,36	70,52	64,62	4,08	4,04
Fonte de Variação	GL	-----CLF-----							
		-----CLF-----		-----MF-----		-----MC-----		-----°BRIX-----	
		2016/17	2017/18	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18
Bloco	3	86,81*	37,91*	24,99 ^{ns}	160,16*	3347,83*	17263,93*	3,83 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Cultivar (C)	1	24,49 ^{ns}	777,48*	99,36*	100,04*	2159,67 ^{ns}	6256,51*	335,25*	321,39*
Dose (D)	5	35,12*	16,47*	9,13 ^{ns}	24,52*	2641,84*	7412,70*	8,83*	4,97 ^{ns}
Número de aplicações (NA)	5	38,01 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1242,24 ^{ns}	1592,51 ^{ns}	21,38*	1,88 ^{ns}
C * D	1	25,17 ^{ns}	1,91 ^{ns}	5,66 ^{ns}	11,57 ^{ns}	849,55 ^{ns}	1052,93 ^{ns}	2,48 ^{ns}	1,42 ^{ns}
C * NA	5	42,60 ^{ns}	5,51 ^{ns}	10,01 ^{ns}	7,41 ^{ns}	55,01 ^{ns}	2951,86 ^{ns}	2,47 ^{ns}	3,78 ^{ns}
D * NA	5	7,89 ^{ns}	0,94 ^{ns}	3,32 ^{ns}	2,73 ^{ns}	957,32 ^{ns}	823,34 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,47 ^{ns}
C * D * NA	5	9,91 ^{ns}	1,44 ^{ns}	23,08 ^{ns}	9,29 ^{ns}	573,21 ^{ns}	2528,62 ^{ns}	2,34 ^{ns}	1,82 ^{ns}
Erro	69	14,23	3,20	14,34	7,19	991,11	1147,11	3,27	2,29
CV %		5,81	3,36	17,07	11,71	23,34	22,07	12,07	9,09
Média Geral		64,94	53,15	22,18	22,9	134,86	153,44	14,97	16,63

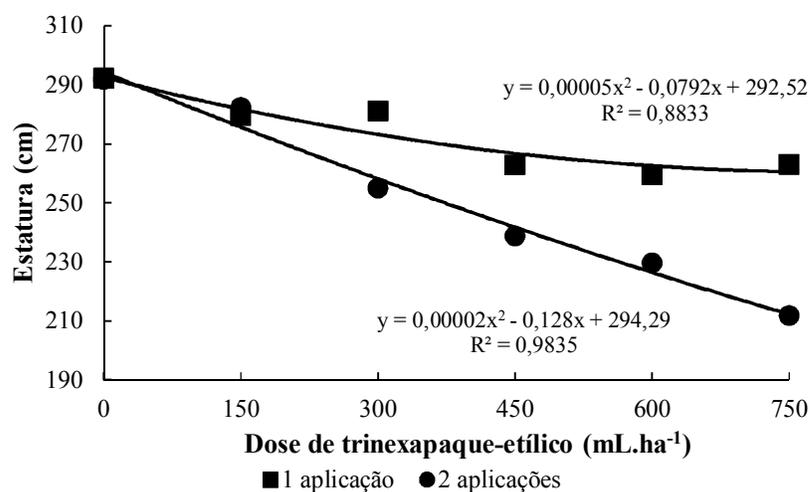
* Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F. ^{ns} Não significativo.

Observou-se redução da estatura das plantas com as aplicações do regulador de crescimento. A medida que se elevou a dose do produto, houve maior redução da estatura em relação à testemunha, sem aplicação, em ambos anos do experimento (Figuras 1 e 2). No primeiro ano de cultivo, comparando-se a testemunha e a maior dose testada (750 mL.ha⁻¹)

considerando duas aplicações do trinexapaque-etílico, houve uma redução de 27 % da estatura das plantas, e no segundo ano, essa redução foi de 29 %. Macedo et al., (2017), na mesma cultura, observou redução de 46% da estatura de plantas aos 49 dias após a semeadura, em relação ao tratamento controle. No presente estudo, quando se utilizou duas aplicações (V5 + V8) houve maior efeito do regulador, se comparado à aplicação única do produto (V5). Estes dados vão de acordo com os encontrados por May et al. (2013a), onde o ingrediente ativo trinexapaque-etílico reduziu o desenvolvimento vegetativo de sorgo sacarino, principalmente quando realizadas duas aplicações do produto ao longo do ciclo.

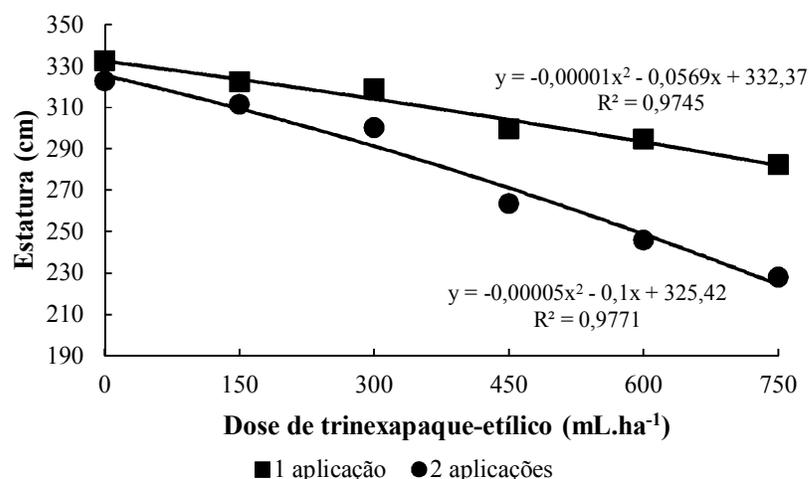
A redução de estatura das plantas foi observada por Tatnell (1995); Alvarez (2003); Linzmeyer Junior et al. (2008); Faria et al. (2015); Kappes et al. (2011); Schwerz et al. (2012) e Hawerroth et al. (2015), nas culturas da cevada, arroz, soja, cana-de-açúcar, crotalária, trigo e aveia-branca, respectivamente. Pricinotto et al. (2015) observaram que a aplicação de trinexapaque-etílico diminuiu a altura de plantas de milho de forma linear à medida que houve o acréscimo da dose do produto, sendo a maior dose (375 g i.a.ha⁻¹) responsável pela menor altura.

Figura 2 – Estatura de plantas de sorgo sacarino submetidas a doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor.

Figura 3 – Estatura de plantas de sorgo sacarino submetidas a doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2017/18. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor.

Com relação às cultivares testadas, pode-se observar que a BRS 506 apresentou estatura um pouco menor que a Fepagro 19 (Tabela 2). Essa característica é importante na cultura do sorgo sacarino, pois está relacionada a produtividade de matéria verde. No entanto, plantas menores possuem a vantagem de apresentar menor suscetibilidade ao acamamento. Comparando-se as duas safras de cultivo do sorgo, pode-se constatar que na primeira, a estatura final das plantas foi menor (11%) do que na segunda safra, sendo afetadas pelas condições climáticas do período de cultivo.

Tabela 2 – Estatura de plantas de sorgo sacarino nas diferentes cultivares na safra 2016/17 e na interação cultivar x número de aplicações de trinexapaque etílico na safra 2017/18. Ibirubá, RS, 2019.

Cultivar	2016/17	2017/18		Média
		1 aplicação	2 aplicações	
BRS 506	240 b	302,1 b A	265,6 b B	283,8
Fepagro 19	284 a	314,3 a A	291,1 a B	302,7
<i>Média</i>	262	308,2	278,4	293,3
CV %	9,71	4,73		

Letras distintas minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A variável acamamento apresentou para a safra 2016/17 interação significativa entre as cultivares e o número de aplicações testadas, e para a safra 2017/18 apenas os efeitos principais da cultivar, dose e número de aplicações se mostraram significativos. A cultivar BRS 506 apresenta um porte menor que a Fepagro 19, e por isso é considerada moderadamente resistente ao acamamento, podendo-se observar esta característica neste estudo (Tabela 3). No primeiro ano de experimento, o acamamento foi de modo geral menor que no segundo, podendo estar relacionado ao menor porte médio das plantas. Também, as restrições hídricas observadas no início da primeira safra podem ter estimulado o desenvolvimento radicular mais profundo, o que resultou em melhor ancoramento das plantas no solo. Ainda, na segunda safra, observou-se elevadas precipitações no final o ciclo, que, aliada às características do sorgo de possuir porte alto (3 a 5 m de altura). Parrella (2011) acrescenta que panícula com grãos no ápice da planta, tornam as plantas mais propensas ao acamamento. Para May (2011), dependendo da região produtora, existe o risco de acamamento, principalmente nos meses de janeiro e março, devido às tempestades com grandes ventanias, comuns na época de verão. Na cultura do milho, Alvim et al. (2010) observaram uma associação da umidade do solo pelas chuvas excessivas e do aumento da massa da parte aérea com o acamamento das plantas.

No experimento observou-se, no primeiro ano, rajadas de vento de 55,8 km.h⁻¹ (04/01/2017) e 61,2 km.h⁻¹ (09/01/2017), associados a um longo período de chuvas gerando acamamento das plantas. Nesta fase os danos são menores, pois a planta apresenta uma baixa estatura, e não houve quebra dos colmos, apenas inclinação, pois o sistema radicular estava pouco ancorado no solo, devido à umidade excessiva. Após alguns dias, as plantas retornaram seu crescimento vertical, e emitiram raízes adventícias, que auxiliam na fixação ao solo. No segundo ano, rajadas de 56,2 e 59,8 km.h⁻¹ foram registradas nas datas de 15 e 18/03/2018, que, associadas a precipitações, elevando o peso das panículas e reduzindo o ancoramento do sistema radicular, provocando acamamento dos colmos. Diferente do primeiro ano, neste momento as plantas se encontravam no final do ciclo, momento que apresentavam sua estatura máxima e um grande peso de panícula. As plantas acamadas não retornaram mais ao seu estado vertical. Na cultura do trigo, com a maior umidade do solo, Easson et al. (1993) mencionam que ventos de até 16 km.h⁻¹ são suficientes para provocar o tombamento, o que causa maior debilidade das plantas depois da chuva.

O uso do trinexapaque-etílico foi eficiente em reduzir o acamamento das plantas, principalmente quando aplicado duas vezes na cultura (Tabela 3). Essa característica pode

estar relacionada à redução do porte das plantas, promovida pelo regulador de crescimento e outras características morfológicas da planta, como o espessamento do tecido esclerenquimático, que, Segundo Lozano e Leaden (2002), provoca maior resistência do colmo ao acamamento. O redutor de crescimento, uma vez aplicado, é absorvido pela planta e passa a atuar seletivamente, através da redução do nível de giberelina ativa, induzindo a planta a uma inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento, sem afetar, porém, o processo de fotossíntese e a integridade da gema apical.

Quanto a dose do regulador utilizada, no segundo ano do experimento, houve efeito significativo, de modo que em doses maiores, houve menor percentual de acamamento (Figura 03), sendo que doses acima de 450 mL.ha^{-1} já apresentaram um eficiente controle. Esses dados concordam com Hawerroth et al. (2015), que observaram redução do acamamento em aveia branca, com aplicações de trinexapaque-etílico em doses entre 100 e $150 \text{ g de i.a.ha}^{-1}$. No presente estudo, comparando-se a maior dose e a testemunha, sem aplicação, houve uma redução de 27% de plantas acamadas. Considerando-se uma colheita mecanizada, corresponderia a uma perda significativa na produtividade pois dificilmente se aproveitaria as plantas acamadas. Além disso o acamamento afeta a estrutura morfológica essencial para o uso eficiente de fotoassimilados e sua translocação para os grãos e órgãos de reserva (GOMES et al., 2010), podendo comprometer a qualidade de utilização dos colmos para extração de caldo.

Apesar de redução do acamamento, pela redução do porte das plantas, não houve comprometimento da produção de matéria verde nos diferentes tratamentos, corroborando com Carvalho et al. (2012) onde a aplicação de redutores de crescimento não afetou a produção de biomassa fresca e seca das plantas em relação ao controle, apesar da redução de porte do sorgo. Para Zagonel e Fernandes (2007), na cultura do trigo, mudanças morfológicas causadas pelo trinexapaque-etílico, que, ao diminuir a altura das plantas, as deixam com uma arquitetura mais adequada para aproveitar os recursos do meio, especialmente a radiação solar, proporcionando um aumento na produtividade.

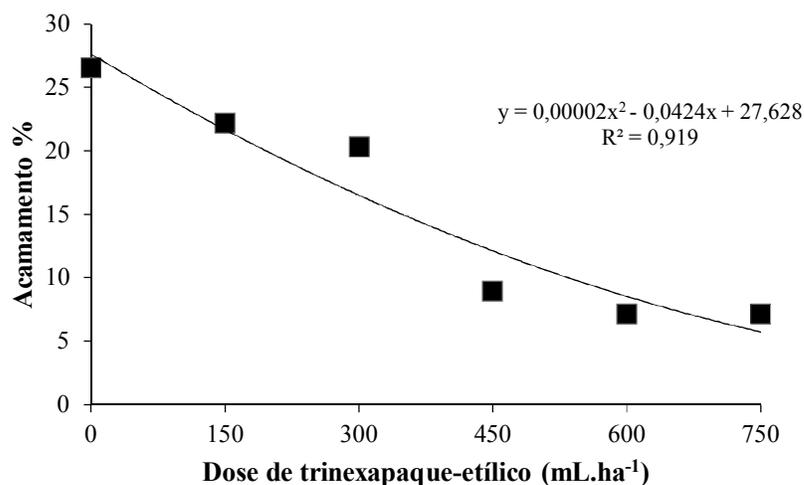
No entanto, na cultura do arroz irrigado, o trinexapaque-etílico apresenta viabilidade de uso nas doses de 200 mL.ha^{-1} , reduzindo o acamamento de plantas, sem interferir negativamente nos componentes do rendimento e na fenologia das plantas. Porém, em doses de 400 e 600 mL.ha^{-1} , reduz o acamamento de plantas, mas atrasa seu ciclo biológico e o número de dias para a floração, interferindo negativamente nos componentes do rendimento e na qualidade de grãos colhidos, aumentando o percentual de grãos quebrados e reduzindo o percentual de grãos inteiros e o rendimento de grãos colhidos (ESTEVO, 2013).

Tabela 3 – Percentual de acamamento em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.

Cultivar	Acamamento (%)			
	----- Safra 2016/17 -----		----- Safra 2017/18 -----	
	1 aplicação	2 aplicações	Cultivar	Número de aplicações
BRS 506	0,68 a A	0,00 a A	9,18 a	1 aplic. 22,35 b
Fepagro 19	7,29 b B	1,19 a A	21,54 b	2 aplic. 8,37 a
Média	3,99	0,6	15,36	15,36
CV (%)	208,2		131,2	

Letras minúsculas distintas na mesma coluna e letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Figura 4 – Percentual de acamamento do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor

A aplicação do regulador de crescimento trinexapaque-etílico nas doses testadas não afetou a produtividade de biomassa verde (Tabela 4). Apenas diferenças significativas entre os dois genótipos testados foram encontradas, se mostrando o Fepagro 19 o mais produtivo em ambos os anos de condução do experimento. No primeiro ano de cultivo as produtividades

foram superiores, em média 9,1%, pois houve maior precipitação na fase reprodutiva no segundo ano, o que resultou em maior acamamento de plantas, reduzindo a produtividade de matéria verde. As produtividades se mostraram satisfatórias, corroborando com Bandeira et al. (2012a), que obteve produtividade média de 79,16 Mg.ha⁻¹ para estas mesmas cultivares, semeadas no mês de novembro em Santa Maria, RS. Segundo Durães et al. (2012) para esse tipo de sorgo, a produção de matéria verde pode variar de 60 a 80 Mg.ha⁻¹. No entanto, Silva et al. (2015) obtiveram produtividade máxima de 90,8 para a cultivar BRS 506 no município de Sinop, MT.

Tabela 4 – Produção de Matéria em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.

Matéria verde (Mg.ha⁻¹)		
Safra		
Cultivar	2016/17	2017/18
BRS 506	65,3 b	57,3 b
Fepagro 19	75,7 a	71,9 a
Média	70,5	64,6
CV (%)	17,4	15,2

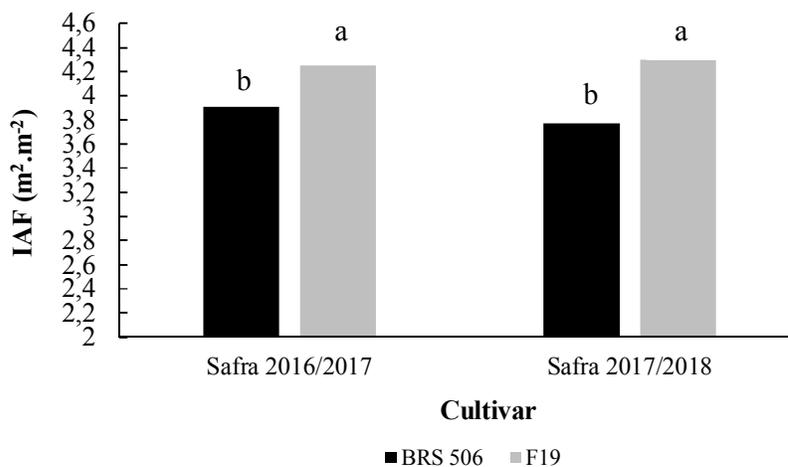
Letras distintas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

O índice de área foliar é a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m².m⁻²). Ele é uma variável biofísica da vegetação que está diretamente relacionada com produção de biomassa pelo dossel, com a radiação e com a evapotranspiração, sendo uma ferramenta de referência para o crescimento das culturas agrícolas. É o componente de crescimento que explica a capacidade de a cultura capturar luz e energia, influenciando assim em seu desenvolvimento (SONNENTAG et al., 2007). O IAF foi influenciado pelo efeito principal da cultivar nas duas safras do experimento (Figura 4). A cultivar BRS 506 apresentou IAF de 3,91 e 3,77 e a Fepagro 19 obteve 4,25 e 4,3. Essa diferença está relacionada ao maior número de folhas encontrado na Fepagro 19. Diferenças entre cultivares de sorgo sacarino também foram encontradas por Ramos (2014), que obteve valores de IAF variando entre 4,82 a 6,30. Segundo Mott e Popenoe (1977), o IAF de gramíneas pode atingir valores de 2 a 3, ou ainda valores maiores que 15, havendo grandes

diferenças entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie. Castro et al. (1989) obtiveram IAF máximo de 1,9 dentre 4 cultivares de sorgo estudadas em Piracicaba, SP.

Apesar do regulador ter afetado a morfologia da folha, aumentando a largura e reduzindo o comprimento, o valor da área foliar não foi alterado, corroborando com Linzmeyer Junior et al. (2008), que não encontrou efeito de diferentes doses do trinexapaque etílico na área foliar da soja. No entanto, a área foliar das plantas de milho foi significativamente reduzida com o uso do regulador de crescimento de plantas trinexapaque-etílico (PRICINOTTO et al., 2015). Valores maiores de IAF são importantes, pois, segundo Brachtvogel (2008), uma das formas de maximizar a interceptação da radiação solar e a produtividade é através do incremento do IAF. No entanto, para Floss (2006) a produtividade não aumenta indefinidamente com a elevação da área foliar (IAF), pois, segundo Jadoski (2015) isso se deve ao fato que a partir de um determinado IAF tem uma parte das folhas fazendo fotossíntese, porém a grande maioria estará sendo auto sombreada.

Figura 5 – Índice de área foliar (IAF, $m^2 \cdot m^{-2}$) de cultivares de sorgo sacarino nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor

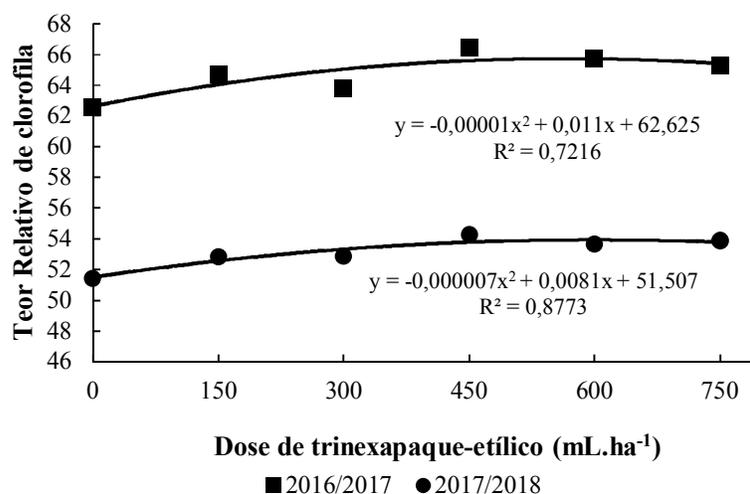
Para a variável teor relativo de clorofila nas folhas houve efeito significativo das doses do regulador de crescimento para as duas safras de cultivo, de modo que o aumento da dose resultou em incrementos no teor de clorofila das folhas. Houve um aumento de 2,72 e 2,43 entre a menor e a maior dose para as safras 2016/17 e 2017/18 (Figura 5). Chavarria et al.,

(2015) observaram incremento significativo dos conteúdos de clorofila a, b e total das plantas do cultivar de trigo Mirante, tratadas com o redutor de crescimento trinexapaque-etílico. Para Espindula et al. (2009) o aumento no índice relativo de clorofila em folhas de trigo tratadas com esse mesmo redutor de crescimento pode ocorrer em função do aumento no teor de clorofila por unidade de área ou volume da folha.

Esse incremento, a partir da aplicação do produto é positivo, pois, segundo Fagherazzi (2015) quanto maior o valor comparativo de clorofila nesses estádios, maior será a produtividade, implicando em manter por mais tempo uma área foliar mínima com as folhas fotossinteticamente ativas. Matysiak (2006), na cultura do trigo, não obteve diferenças significativas do teor de clorofila utilizando o trinexapaque-etílico.

As melhorias de produtividade em plantas com maiores teores de clorofila nas folhas se justificam pela relação que estas possuem com o teor de nitrogênio (N) nas folhas, de modo que este macro nutriente é um dos principais responsáveis pela elevação das produtividades de culturas. Essa correlação do teor de clorofila com o de N foi avaliando na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por Soratto et al. (2004), que evidenciaram correlação alta e significativa entre estes parâmetros.

Figura 6 – Teor Relativo de Clorofila nas folhas de sorgo sacarino submetido a doses de trinexapaque-etílico nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor

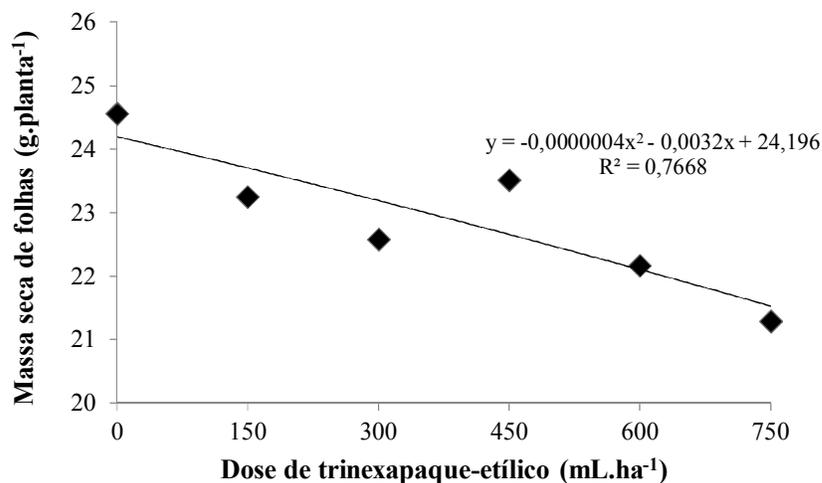
A massa seca das folhas não foi afetada pelos tratamentos com regulador de crescimento no primeiro ano de cultivo, sendo observado apenas as diferenças entre as cultivares utilizadas (Tabela 5), e no segundo ano, houve diferenças entre as doses aplicadas do trinexapaque-etílico. A cultivar Fepagro 19 apresentou em ambos anos, maior massa seca das folhas, pois apresentou maior número de folhas por planta do que a BRS 506. No segundo ano, observou-se uma redução da massa das folhas à medida que se elevou a dose de trinexapaque-etílico nas plantas do sorgo (Figura 6). Essa característica pode estar relacionada às alterações na arquitetura das plantas provocadas pelo fito hormônio, que reduziu o comprimento das folhas e elevou a largura, embora não tenha alterado o índice de área foliar das plantas.

Tabela 5 – Massa de matéria seca de folhas (g.planta^{-1}) e massa de matéria seca de colmos (g.planta^{-1}) em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico em duas safras de cultivo. Ibirubá RS, 2019.

Cultivar	--Massa seca de folhas (g.planta^{-1})--		--Massa seca de colmos (g.planta^{-1})--	
	Safra 2016/17	Safra 2017/18	Safra 2016/17	Safra 2017/18
BRS 506	21,16 b	21,88 b	139,6 a	161,51 a
Fepagro 19	23,19 a	23,92 a	130,12 a	145,37 b
Média	22,17	22,89	134,86	153,44
CV (%)	17,07	11,71	23,34	22,07

Letras distintas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

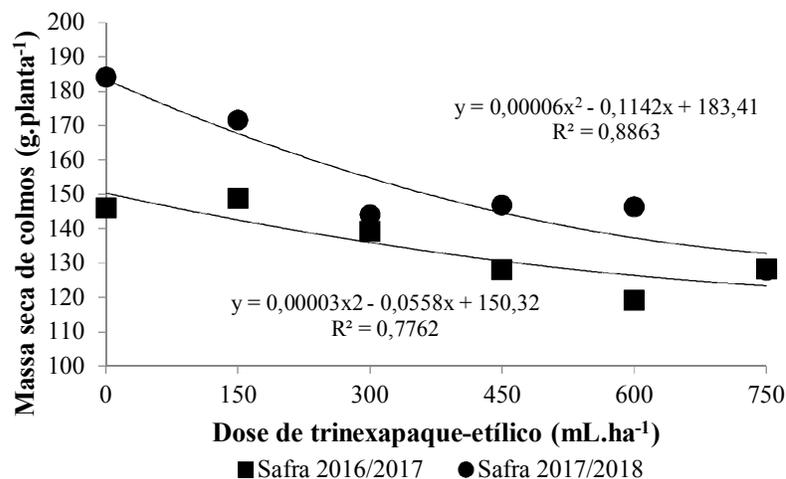
Figura 7 – Massa seca de folhas do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor.

A massa seca de colmos foi afetada em ambas safras pela dose de trinexapaque-etílico aplicada (Figura 7). Com a redução da estatura das plantas, e sem aumento no diâmetro do colmo, a massa de colmos por planta reduziu à medida que se elevou a dose do regulador de crescimento. Comparando-se as duas safras do experimento, pode-se constatar uma maior massa seca de colmos no segundo ano devido à maior estatura das plantas nesta safra.

Figura 8 – Massa seca de colmos do sorgo sacarino submetidas a doses de trinexapaque-etílico nas safras 2016/17 e 2017/18. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor.

O teor de sólidos solúveis totais (^obrix), é um muito usado para estimar a concentração de açúcares presentes no caldo, podendo ser um parâmetro importante para seleção do material a ser usado em cultivos visando a produção de etanol. Para Almodares e Hadi (2009), estudando 36 materiais de sorgo sacarino, encontraram teor de brix variando de 14,31 % a 23,01 % e segundo May et al. (2013b), o caldo do sorgo sacarino deve apresentar um Brix mínimo variando de 14,25 a 14,5%, tendo como objetivo obter alta produtividade de etanol. No primeiro ano de cultivo, apenas os efeitos principais dos fatores cultivar, dose e número de aplicações foram significativos. No segundo ano, apenas o efeito da cultivar foi observado.

Quanto aos genótipos estudados, a cultivar BRS 506 apresentou maiores valores do que a Fepagro 19 sendo esta uma característica muito relacionada à genética do material utilizado. O brix da BR506 foi de 16,84 e 18,46% e da Fepagro 19 foi 13,10 e 14,80% para as safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente (Tabela 6). Esses valores corroboram com Bandeira et al. (2012a) que obteve 16,15 e 14,16% para as mesmas cultivares, e também concordam com Biondo (2015) que obteve para a cultivar BRS 506 brix de 17,6 e 14,5% e para a Fepagro 19 brix 12,8 e 12,6% nos anos de 2012/13 e 2013/14, respectivamente. Bandeira et al. (2012b) obteve valores de brix entre 16,15 e 17,02 estudando a cultivar BRS 506 em diferentes espaçamentos entre linhas e épocas de semeadura, sendo estes valores superiores aos encontrados por Pereira Filho et al. (2013) e Reis (2014) que, para esta mesma cultivar, obtiveram valores máximos de 15,5 e 11,8 % respectivamente.

Comparando-se os dois anos de cultivo, obteve-se maior Brix na segunda safra. Quando as plantas atingiram o ponto de grão farináceo-duro, se iniciou a colheita, porém, no segundo ano, houve um período chuvoso no final de março, o que atrasou a colheita, podendo ter afetado o Brix do caldo do sorgo. Sabe-se que a medida que avança o processo de maturação da planta, os sólidos solúveis totais se concentram no caldo, aumentando a medida do brix. Segundo Emygdio (2011) o teor de brix é um caráter complexo e deve-se ter cuidado ao se comparar valores obtidos em diferentes experimentos e em diferentes locais, tendo em vista que o mesmo é altamente variável em função do estágio de desenvolvimento da cultura, da posição na planta onde o mesmo é avaliado e da forma como a análise é conduzida.

Tabela 6 – Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em duas cultivares de sorgo sacarino submetidas nas safras 2016/17 e 2017/18 e diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.

Sólidos solúveis totais -%- (°Brix)				
Cultivar	Safra 2016/17	Safra 2017/18	Número de aplicações	Safra 2016/17
BRS 506	16,84 a	18,46 a	1 aplicação	15,44 a
Fepagro 19	13,10 b	14,80 b	2 aplicações	14,50 b
Média	14,97	16,63		14,97
CV (%)	12,07	9,09		12,07

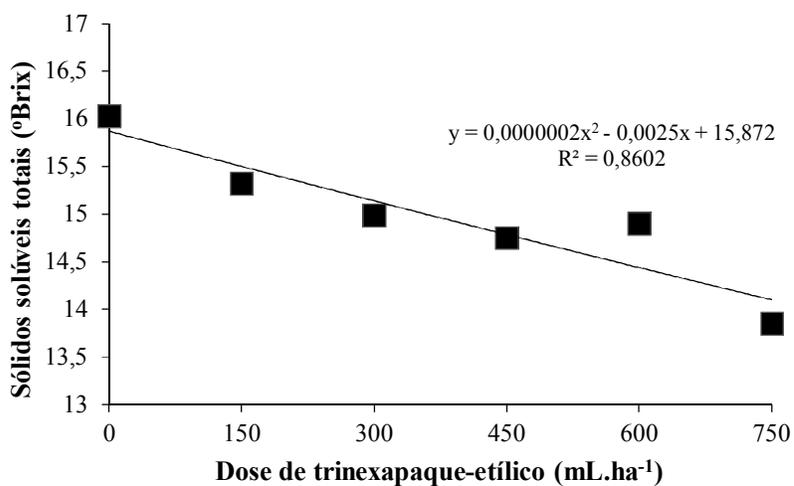
Letras distintas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A utilização do regulador de crescimento apresentou efeito desfavorável na variável brix do caldo do sorgo sacarino na safra 2016/17 (Figura 8). A medida que se elevou a dose do trinexapaque-etílico, houve redução no valor do brix, passando de 16,03% na testemunha para 13,85% na maior dose aplicada (750 mL.ha⁻¹), resultando em uma diferença de 2,18%. Esses dados discordam dos obtidos por Viana et al. (2015) na cultivar de sorgo sacarino Biomatrix 535, onde aplicações de trinexapaque-etílico nas doses de 200, 400 e 800 mL.ha⁻¹ apresentaram valores de brix de 16,74, 16,27 e 16,97%, respectivamente, sendo estatisticamente superiores a testemunha sem controle, que apresentou brix de 13,56%. Macedo et al. (2017) obteve aumento do brix do sorgo com a aplicação de 750 mg.L⁻¹ de trinexapaque-etílico, elevando de 12 para 14,2%.

Os resultados encontrados podem estar relacionados com o fato da extração do caldo ter sido realizada na planta inteira, e não apenas na porção mediana do colmo. As aplicações do redutor de crescimento foram realizadas quando a planta possuía cinco ou oito folhas, compreende a porção mediana do colmo, sendo esta a mais reduzida. Segundo Moura et al., (2013), os açúcares estão mais concentrados nas posições intermediárias do colmo, de modo que as extremidades apresentam menor °Brix.

No entanto, considerando o valor mínimo citado por May et al. (2013a), apenas a maior dose estaria abaixo desse patamar, sendo nas outras doses ainda suficientes para produção de etanol de boa qualidade. CHICONE (2012) aplicando trinexapaque etílico na dose de 800 mL.ha⁻¹ em cana de açúcar, não observou alteração do brix do caldo quando comparada a testemunha sem aplicação.

Figura 9 – Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) do sorgo sacarino submetido a doses de trinexapaque-etílico na safra 2016/17. Ibirubá RS, 2019.



Fonte: Autor.

CONCLUSÕES

A aplicação de trinexapaque-etílico ocasionou a redução da estatura e do acamamento de plantas de sorgo sacarino, sem afetar a produtividade da biomassa verde.

O teor de sólidos solúveis totais do caldo (Brix) reduziu com a aplicação do regulador de crescimento na safra 2016/17, à medida que se elevou a dose e o número de aplicações.

A cultivar BRS 506 apresenta menor estatura e acamamento, maior teor de Brix que a Fepagro 19, porém possui menor produtividade de matéria verde.

A aplicação do regulador de crescimento é uma ferramenta vantajosa, principalmente em cultivares de porte mais elevado e com maior suscetibilidade ao acamamento, como a Fepagro 19.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Composição da matéria seca do Sorgo Forrageiro em diferentes arranjos de plantas no Semi-Árido de Minas Gerais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 2, 2009.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Espaçamento entre fileiras e Densidade de semeadura do Sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- ALVAREZ, R. C. A. **Absorção, distribuição e redistribuição de nitrogênio (¹⁵N) em cultivares de arroz de terras altas em função da aplicação de reguladores vegetais**. 2003. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2003.
- ALVAREZ, R. C. F. et al. Influência do etil-trinexapac no acúmulo, na distribuição de nitrogênio (¹⁵N) e na massa de grãos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1487-1496, 2007.
- ALVIM, K. R. T. et al. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p.1017-1022, 2010.
- AMREIN, J.; RUFENER, M.; QUADRANTI, M. The uses of CGA 163'935 as a growth regulator in cereals and oilseed rape. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE: WEEDS, 1989, Brighton. **Proceedings...** Surrey: BCPC, 1989. p. 2-12.
- BANDEIRA, A. H. et al. Desempenho de genótipos de sorgo sacarino cultivados em diferentes épocas de semeadura na região Central do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29. 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012a.
- BANDEIRA, A. H. et al. Parâmetros tecnológicos de sorgo sacarino BRS 506, cultivado em distintas épocas de semeaduras e espaçamento de entrelinhas. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA E IV REUNIÃO TÉCNICA DE AGROENERGIA. **Anais...** Porto Alegre, 2012b.
- BIONDO, J. C. **Parâmetros qualitativos e maturação de genótipos de sorgo sacarino em Santa Maria-RS**. 2015. 36 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
- BRACHTVOGEL, E. L. **Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agrônômicos**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2008.

CARVALHO, M. E. A. et al. Efeitos de Redutores de Crescimento Sobre o Desenvolvimento Inicial do Sorgo Sacarino. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - **Anais...** Águas de Lindóia, SP, 2012.

CASTRO, P. R. C. et al. Desenvolvimento, nutrição mineral e caracteres tecnológicos comparados em cultivares de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 24(2): 191-200, fev. 1989.

CHAVARRIA, G.; ROSA, W, P. da; HOFFMANN, L.; DURIGON, M. R. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade de grãos. **Ceres**, Viçosa, vol. 62 no.6 Nov./Dec. 2015.

CHICONE, L. C. G. **Qualidade da matéria-prima de cana-de-açúcar (SP81-3250) submetida à aplicação de maturadores em dois ciclos sucessivos**. 2012, 61 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, SP, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 400 p. 2004.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2012.

EASSON, D. L.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 121, p. 145-156, 1993.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 312 p.

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

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; FONTES, P. C. R.; DA SILVA, R. C. C.; SOUZA, L. T. Effect of nitrogen and Trinexapac-Ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, n.1, p.1956–1964, 2009.

ESTEVO, A. P. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl em cultivares de arroz irrigado**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

FAGERNESS, M. J.; PENNER, D. 14 C-Trinexapac-ethyl absortionad translocation in Kentucky bluegrass. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1023-1027, 1998.

FAGHERAZZI, M. M. **Respostas morfo-agronômicas do milho à aplicação de trinexapac-ethyl em diferentes estádios fenológicos e doses de nitrogênio**. 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2015.

FARIA, A. T. et al. Effect of trinexapac-ethyl on growth and yield of sugarcane. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 491-497, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FLARESSO, J. A.; GROSS, C. D.; ALMEIDA, E. X. Cultivares de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia** [online], v. 29, n. 6, p. 1608-1615, 2000.

FLOSS, E. L. **Fisiologia de plantas cultivadas**. Passo Fundo: UPF, 2006, 751 p.

GOMES, L. S. et al. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebraamento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 140-145, 2010.

HAWERROTH, M. C. et al. Redução do acamamento em aveia-branca com uso do regulador de crescimento etil-trinexapac. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 2, p. 115-125, fev. 2015.

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

JADOSKI, C. J. **Avaliações fisiológicas de sorgo sacarino inoculado com *Azospirillum brasilense* em função da adubação nitrogenada e reguladores vegetais**. 2015. 98 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, SP, 2015.

KAPPES, C. et al. Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 508-518, 2011.

LAMAS, F. M. Reguladores de crescimento. In: **ALGODÃO: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 238-244, 2001.

LINZMEYER JUNIOR, R. et al. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LOZANO, C. M.; LEADEN, M. I. **Novedades sobre el uso de reguladores de crecimiento en trigo**. Jornadas de actualización profesional: Trigo 2001, p. 34-35, 2001.

LOZANO, C. M.; LEADEN, M. I. Efecto de reguladores de crecimiento sobre el rendimiento y altura en dos cultivares de trigo. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRIGO, 5., SIMPÓSIO NACIONAL DE CEREALES DE SIEMBRA OTOÑO INVERNAL, 3. Argentina, **Anais...** Inta, 2002.

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, jan./mar. 2017.

MACMILLAN, J. Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi and bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**. V. 20, p. 387-442, 2002.

MARTINS, L. M. **Épocas de aplicação de regulador de crescimento e de sombreamento artificial afetando cultivares de trigo**. 2012. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2012.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, Poznan, v. 46, n. 2, p. 133-143, 2006.

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

MAY, A. et al. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. (Circular Técnica, 186). Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 36 p. 2013b.

MOLINA, L. R. et al. Avaliação agrônômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 4, Belo Horizonte, MG, 2000.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Seção de Geografia, 46 p. 1961.

MOTT, G. O.; POPENOE, H. L. Glasslands. In: ALVIM, P. T.; KOZLOWSKI, T. T. (Eds.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, New York, Academic Press, p. 157-186, 1977.

MOURA, S. M.; SENA, F. M.; OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, V. F.; BERNARDINO, K. C.; MORÃO, C. S.; MACHADO, P. H. B.; RIBEIRO, P. C. De O.; DOS SANTOS, C. V.; PARELLA, R. A. Da C.; MENEZES, C. B. SCHAFFERT, R. E. Distribuição de açúcares nos entrenós de genótipos comerciais de sorgo sacarino. **Anais...7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, Uberlândia, 2013.

NAQVI, S. S. M. Plant growth hormones: growth promoters and inhibitors. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, p. 527-556. 1994.

PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético de sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 13-15, 2011.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.

PINTHUS, M. J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, v. 25, n. 1, p. 208-263, 1973.

PRICINOTTO, L. F. et al. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 10, n. 14, p. 1735-1742, apr. 2015.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-531, 2000.

RAMOS, S. B. **Dose, parcelamento e modo de aplicação de nitrogênio em atributos nutricionais, agronômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino**. 2014. 177 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2014.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.

REIS, R. M. **Produtividade e manejo de plantas daninhas no sorgo sacarino cultivado em diferentes arranjos de plantas**. 2014. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo: Sistema de produção, 2, ISSN 1679-012X Versão Eletrônica, 8ª edição, 2012.

RODRIGUES, O. et al. **Redutores de crescimento**. (Circular Técnica nº 14). Passo Fundo: Embrapa, 2003.

SANS, L. M. A.; A. V. de C. DE MORAIS; D. P. GUIMARÃES. **Época de plantio de sorgo**. (Comunicado Técnico). MAPA. Sete Lagoas. 2003.

SCHWERZ, L. et al. Uso de regulador de crescimento na cultura de trigo (*triticum aestivum* L.) sob diferentes densidades de semeadura. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 14, 2012.

SILVA, A. F da. Et al. **Desempenho de Genótipos de Sorgo Sacarino Cultivados em Diferentes Épocas de Semeadura no Médio Norte do Mato Grosso**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 131, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

SONNENTAG, O. et al. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 144, p. 200-212, 2007.

SORATTO, P. R.; CAMILLO, M. A.; ORIVALDO A. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

SOUZA; C. A. et al. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKAHASHI, N. et al. Gibberellins. In: TAKAHASHI, N. (Ed.). **Chemistry of plant hormones**. Boca Raton: CRC, p. 57-151, 1988.

TATNELL, J. A. The relationship between height reduction, lodging control and yield in winter barley following use of trinexapac-ethyl. In: BRIGHTON CROP PROTECTION

CONFERENCE WEEDS. 1995, Brighton. **Proceedings...** Farnham: BCPC, v. 2, p. 635-640, 1995.

VANDERLIP, R. L.; REEVES, H. E. Growth stages of sorghum. **Agronomy Journal**, 64:13-16, 1972.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1001-1016, 1991.

CAPÍTULO II - QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES PRODUZIDAS PELO SORGO SACARINO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE REDUTOR DE CRESCIMENTO

RESUMO – A utilização de reguladores de crescimento vegetal antagonistas à giberelina em plantas de sorgo sacarino pode afetar a germinação das sementes produzidas. Sendo assim, objetivou-se verificar a qualidade fisiológica e viabilidade de uso de sementes produzidas pelas plantas de sorgo que receberam aplicações do regulador de crescimento trinexapaque-etílico. O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2017, utilizando-se sementes da cultivar BRS 506 oriundas de um experimento de campo, conduzido na safra 2016/17 em Ibirubá-RS, onde se aplicou diferentes doses e números de aplicações de trinexapaque-etílico. O trabalho foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições por tratamento, envolvendo um modelo fatorial (4 x 2) com quatro doses do redutor de crescimento, produto comercial (0; 150; 450 e 750 mL.ha⁻¹) e diferentes números de aplicações (uma aplicação em estágio V5 – 5 folhas expandidas, e duas aplicações, sendo uma em V5 e outra em V8 – 8 folhas expandidas) totalizando oito tratamentos. Para verificar a qualidade fisiológica e viabilidade dessas sementes, se aplicou os testes de massa de mil sementes, primeira contagem do teste de germinação, germinação total, emergência em areia, comprimento e massa seca de plântulas, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. Observou-se diminuição da qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino oriundas de plantas que receberam trinexapaque-etílico, principalmente com o aumento do número de aplicações. Assim, recomenda-se que sementes provindas de plantas que receberam aplicações de trinexapaque-etílico, mesmo em doses baixas, não devem ser utilizadas para fins de multiplicação.

Palavras chave: *Sorghum bicolor*, trinexapaque-etílico, germinação, vigor.

CHAPTER II - PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS PRODUCED BY THE SACCHARIN SORGHUM SUBMITTED FOR GROWTH REDUCER APPLICATIONS

ABSTRACT - The use of gibberellin antagonist plant growth regulators in saccharin sorghum plants can affect the germination of seeds produced. Thus, the objective was to verify the physiological quality and viability of the use of seeds produced by sorghum plants that received the applications of the trinexapaque-ethyl growth regulator. The experiment was conducted at the Didactic and Seed Research Laboratory of the Federal University of Santa Maria (UFSM) in 2017, using seeds of cultivar BRS 506 from a field experiment conducted in the 2016/17 crop in Ibirubá-RS, where different doses and numbers of trinexapak-ethyl applications were applied. The study was conducted in a completely randomized design with eight replications per treatment, involving a factorial model (4 x 2) with four doses of growth reducer, commercial product (0; 150; 450 and 750 mL.ha⁻¹) and different application numbers (one V5 stage application - 5 expanded sheets, and two applications, one in V5 and one in V8 - 8 expanded sheets) totaling eight treatments. To verify the physiological quality and viability of these seeds, we applied the one thousand seed mass tests, first germination test

count, total germination, sand emergence, seedling length and dry mass, electrical conductivity and accelerated aging. There was a decrease in the physiological quality of saccharin sorghum seeds from plants that received trinexapac-ethyl, mainly with the increase of the number of applications. Thus, it is recommended that seeds from plants that have been given trinexapac-ethyl applications, even at low doses, should not be used for multiplication purposes.

Keywords: *Sorghum bicolor*, trinexapac-ethyl, germination, vigor.

INTRODUÇÃO

Os genótipos de sorgo que apresentam teor de sólidos solúveis no colmo na maturidade acima de oito °Brix no caldo são chamados de sacarino (NAN et al., 1994). Devido a estas características, os sorgos desse grupo, se apresentam como uma fonte potencial de matéria-prima para a produção de etanol, principalmente em regiões produtoras de cana-de-açúcar, com grande potencial de utilização da mesma estrutura de usinas no período da entressafra.

Dentre as características morfológicas da planta do sorgo sacarino, destaca-se o porte elevado, podendo atingir até 5 m de altura dependendo da cultivar (PARRELLA, 2011), aptidão favorável a produção de colmo, porém o torna suscetível ao acamamento. Uma forma de reduzir a altura das plantas e o acamamento é com a utilização de redutores de crescimento (CARVALHO et al., 2012), que são substâncias químicas sintéticas que alteram o balanço hormonal das plantas (LAMAS, 2001), desencadeando uma série de alterações celulares, as quais podem afetar a iniciação ou modificação do desenvolvimento de tecidos ou órgãos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013). Aqueles que reduzem o porte da planta são, em geral, antagonistas da giberilina (RODRIGUES et al., 2003), podendo-se destacar o trinexapaquetílico.

Aplicações de retardantes e/ou inibidores de giberelinas podem aumentar o rendimento pela redução do acamamento da cultura, em condições e cultivares em que esse problema é sério. Além dos caules mais curtos e grossos nas plantas tratadas, o crescimento radicular pode ser mais vigoroso, e as folhas podem se tornar mais curtas, largas e horizontais (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008).

Dentre os reguladores que inibem giberelinas, destaca-se o trinexapaquetílico, que inibe a biossíntese do ácido giberélico, ocasionando redução do crescimento, em razão da menor alongação celular (AMREIN et al., 1989; FAGERNESS; PENNER, 1998; LAMAS, 2001). Este redutor de interfere na rota metabólica da biossíntese do ácido giberélico pela

inibição da enzima 3- β -hidroxilase, reduzindo a síntese de giberelinas de alta eficiência biológica como GA1, GA3, GA4, GA7, GA9, GA20, dentre outros. Assim, as plantas passam a sintetizar e acumular giberelina biologicamente menos eficiente como GA8, GA17, GA19 e GA24, determinando à redução no alongamento celular (crescimento), sem causar deformação morfológica do caule (NAQVI, 1994; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A aplicação de redutores de crescimento pode comprometer a viabilidade das sementes produzidas, pois de acordo com Swain; Singh (2005), a inibição da síntese de giberelinas pelo regulador de crescimento afeta negativamente a germinação das sementes pois este hormônio, segundo Taiz; Zeiger (2013) é necessário para ativar o crescimento do embrião de várias espécies vegetais.

As Giberelinas apresentam função importante em várias etapas do processo germinativo, como na superação da dormência de sementes, na hidrólise das reservas nutritivas e pela indução da síntese de alfa-amilase, enzima responsável pela hidrólise do amido (ARAGÃO et al., 2003; BOTELHO; PEREZ, 2001; LEVITT, 1974). Esta enzima exerce o principal papel na degradação de amido em sementes de cereais (BECK; ZEIGLER, 1989; DUNN, 1974), apresentando 90% da atividade amilolítica total (MAYER; POLJAKOFF-MAYBER, 1978). Neste processo, o ácido giberélico, produzido no embrião é transferido para camada de aleurona onde a α -amilase é produzida via *síntese de novo* e essa promove a conversão do amido em açúcar, que é usado então para o crescimento da plântula (ARTECA, 1995).

No Brasil, o trinexapaque-etílico está registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apenas para uso nas culturas de trigo, cevada e cana-de-açúcar (AGROFIT, 2018). Para a cultura do sorgo sacarino, os estudos com o regulador de crescimento são escassos, evidenciando a importância de se compreender o efeito desses produtos sobre o desempenho agrônômico e qualidade fisiológica das sementes dessa cultura.

O objetivo do estudo foi de avaliar o efeito de diferentes doses e número de aplicações do regulador de crescimento trinexapaque-etílico na qualidade fisiológica das sementes produzidas pelo sorgo sacarino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) nos meses de maio e junho de 2017. Para a realização do experimento, se utilizou sementes de sorgo sacarino, cultivar BRS 506, oriundas

de um experimento de campo, conduzido em Ibirubá-RS na safra 2016/2017, onde se aplicou via foliar, diferentes doses e números de aplicações de trinexapaque-etílico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições, em um modelo bifatorial (4x2), sendo representado pelas combinações dos fatores dose do redutor de crescimento trinexapaque-etílico (0; 150; 450 e 750 mL.ha⁻¹) e diferentes números de aplicações (uma aplicação em estágio V5 – 5 folhas expandidas, e duas aplicações, sendo uma em V5 e outra em V8 – 8 folhas expandidas), totalizando oito tratamentos.

A colheita das sementes para a realização do estudo foi realizada após as plantas atingirem a maturação fisiológica e foram limpas e secas até atingirem umidade de aproximadamente 13%, para posteriormente serem realizadas as avaliações físicas e fisiológicas. As sementes de sorgo apresentam dormência fisiológica logo após a colheita, e para superá-la, as sementes foram acondicionadas em um refrigerador para resfriamento a temperatura de 5-10 °C por um período de cinco dias (BRASIL, 2009).

Após o processo de limpeza e secagem, as sementes foram avaliadas quanto às características físicas e fisiológicas pelos seguintes testes:

a) Grau de umidade: Utilizou-se o método padrão da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas, onde cada tratamento foi avaliado por duas amostras de cinco gramas, acondicionadas em recipientes metálicos e colocadas em estufa. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa, tampadas e colocadas em dessecador por 15 minutos para resfriar, e em seguida, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001g. A porcentagem de umidade foi determinada com base na diferença entre massa úmida e seca, aplicando-se a fórmula proposta pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

b) Massa de mil sementes: Determinada pela contagem manual de oito repetições de 100 sementes, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001g e após calculou-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. O coeficiente de variação das amostras foi inferior a 4 %, portanto, seguindo a metodologia proposta em Brasil (2009), se multiplicou a média das 100 sementes por 10 para obter a massa de mil sementes das amostras.

c) Primeira contagem ou vigor e Germinação: Realizado por meio da semeadura de 400 sementes por tratamento, divididas em oito repetições com 50 sementes cada, as quais foram distribuídas sobre duas folhas de papel para germinação (*germitest*) e cobertas com uma terceira, ambas umedecidas com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Em seguida, as amostras foram organizadas em rolo, colocados em sacos plásticos transparentes para evitar a perda de água por evaporação e posteriormente mantidos, verticalmente, em câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen*

Demand) regulada para o regime de temperatura constante de 25 °C, com fotoperíodo constante. Para determinar a primeira contagem ou vigor das sementes, decorridos quatro dias da montagem do teste, os rolos foram abertos e se contabilizou o percentual de germinação. Em seguida, os rolos de papel retornaram para a câmara de germinação, até completar o décimo dia, para se realizar uma nova contagem de percentual de germinação (BRASIL, 2009).

d) Comprimento de radícula e parte aérea: A montagem deste teste é semelhante ao de germinação, realizado por meio da sementeira de 160 sementes por tratamento, divididas em oito repetições com 20 sementes cada, as quais foram distribuídas sobre duas folhas de papel para germinação e cobertas com uma terceira, ambas umedecidas com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Em seguida, as amostras foram organizadas em rolo, colocados em sacos plásticos transparentes para evitar a perda de água por evaporação e posteriormente acondicionados, verticalmente, em câmara de germinação do tipo B.O.D. regulada para o regime de temperatura constante de 25 °C, com fotoperíodo constante. Após decorridos quatro dias, foram aferidas em 10 plântulas normais de cada repetição, as medidas de comprimento de raiz e parte aérea, usando-se uma régua graduada (cm), sendo os resultados expressos em cm por plântula (NAKAGAWA, 1999).

e) Massa seca de plântulas: As mesmas plântulas utilizadas para aferição do comprimento foram colocadas em sacos de papel, separando-se raiz e partes aéreas, e levadas à estufa com circulação de ar forçada, mantida à temperatura constante de 65°C por um período de 48 horas (NAKAGAWA, 1999). Após este período, a massa seca foi determinada em balança analítica com precisão de 0,001g, e os resultados expressos em gramas por plântula.

f) Envelhecimento acelerado: Foram distribuídas sementes sobre uma tela de alumínio fixada no interior de caixas plásticas tipo gerbox, com 40 mL de água destilada, funcionando como uma mini-câmara. Em seguida, as caixas foram mantidas em estufa com circulação de ar à temperatura de 42°C por 48 horas. Após este período, se procedeu o teste de primeira contagem da germinação, conforme descrito anteriormente, a partir da sementeira de oito repetições de 50 sementes, em germinador tipo BOD, com luz constante e temperatura de 25°C, por 4 dias. Em seguida se procedeu a contagem de plântulas normais germinadas (MARCOS FILHO et al., 1987).

g) Emergência de plântulas em substrato de areia: Para este teste, foi utilizada areia lavada e esterilizada, umedecida em 60% da sua capacidade de retenção de água e reumedecida sempre que necessário. Foram replicados oito subamostras de 50 sementes para cada tratamento alocados em bandejas plásticas (43cm x 30cm x 7cm) numa profundidade de

sulco de dois cm para a semeadura. As caixas foram expostas a temperatura normal de ambiente, em laboratório, durante 10 dias, quando foi determinada a percentagem média de emergência de plântulas para cada tratamento (NAKAGAWA, 1999).

h) Condutividade elétrica: Utilizou-se 400 sementes, divididas em oito repetições de 50 cada, com sua massa conhecida. As sementes foram colocadas em copos plásticos descartáveis, contendo 50 mL de água deionizada, e mantidas em germinador tipo BOD, por um período de 24 horas sob luz constante e temperatura de 25°C. Após, se determinou a leitura de condutividade elétrica da solução de embebição em condutímetro modelo Digimed DM 31, previamente calibrado, expressando os resultados $S\text{ cm}^{-1}\text{ g}^{-1}$ de sementes (VIEIRA, 1994).

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias. Em seguida, a análise de variância foi realizada pelo teste F ($p \leq 0,05$) e posteriormente as variáveis que obtiveram significância foram desdobradas para o estudo da interação ou de efeitos principais pelo teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$). O software utilizado para as análises foi o Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis massa de mil sementes (MMS), envelhecimento acelerado (ENVL) houve interação dupla entre as fontes de variação dose e número de aplicações do regulador de crescimento. Para as demais variáveis, apenas os efeitos principais dos fatores dose e/ou número de aplicações foram significativos pelo teste F a 5 % de probabilidade (Tabela 7).

Tabela 7 – Resumo da análise de variância dos resultados da avaliação de qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino produzidas na safra 2016/2017, submetidas a 4 doses de regulador de crescimento, em uma ou duas aplicações. As variáveis massa de mil sementes (MMS, g), emergência de plântulas (EME, %), primeira contagem do teste de germinação (PCONT, %), germinação (GERM, %), envelhecimento acelerado (ENVL, %), condutividade elétrica (COND, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), comprimento radicular (CR, cm), comprimento de parte aérea (CPA, cm), massa seca radicular (MSR, g), massa seca da parte aérea (MSPA, g), comprimento total de plântulas (CTOT, cm) e massa seca total de plântulas (MSTOT, g). Santa Maria, RS, 2019.

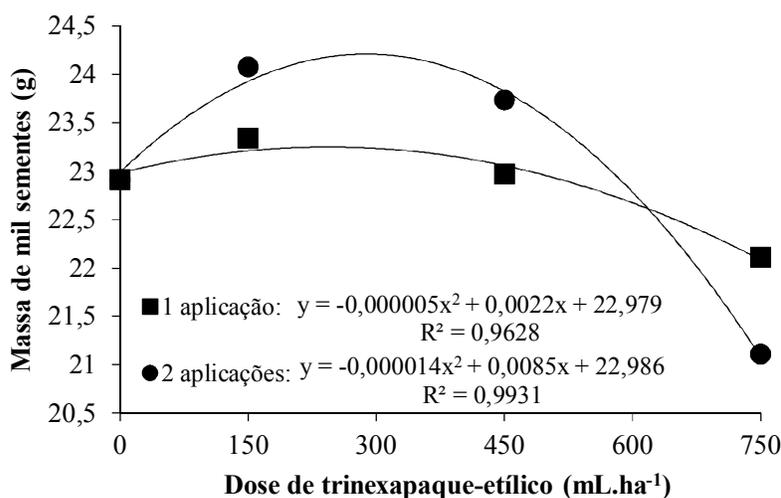
Fonte de Variação	Quadrados médios						
	GL	MMS	EME	PCONT	GERM	ENVL	COND
Dose (D)	3	13,41*	5,39 ^{ns}	43,89 ^{ns}	40,06 ^{ns}	177,89*	52,25*
Número de aplicações (NA)	1	0,25 ^{ns}	150,06*	217,56*	175,56*	45,56*	17,91 ^{ns}
D * NA	3	2,73*	27,73 ^{ns}	44,39 ^{ns}	34,39 ^{ns}	90,23*	14,83 ^{ns}
Erro	56	0,39	30,95	12,95	13,34	10,74	5,29
CV %		2,73	6,45	4,04	4,07	3,56	6,43
Média Geral		22,89	86,28	89,15	89,84	92,09	35,75
	GL	CR	CPA	CTOT	MSR	MSPA	MSTOT
Dose (D)	3	2,661 ^{ns}	1,087*	6,541*	0,0001 ^{ns}	0,012*	0,014*
Número de aplicações (NA)	1	4,425*	0,151 ^{ns}	6,213 ^{ns}	0,0031*	0,0148*	0,031*
D * NA	3	0,517 ^{ns}	0,235 ^{ns}	0,806 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0037 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Erro	56	1,001	0,205	1,812	0,0002	0,0018	0,0027
CV %		13,58	13,75	12,63	9,54	13,75	11,04
Média Geral		7,37	3,29	10,66	0,159	0,312	0,471

* Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F. ^{ns} Não significativo.

Ao analisar a variável massa de mil sementes (Figura 10) pode-se constatar que na dose mais baixa (150 mL.ha⁻¹) as aplicações proporcionaram aumentos na MMS tanto em aplicação única, como em duas aplicações. No campo, a dose menor reduziu em parte a estatura dessas plantas, não comprometendo a produção de fotossintatos e seu particionamento para a formação das sementes. Isso pode ser explicado por Zagonel et al. (2002), que afirma que plantas com menor estatura e mais compactas apresentam melhor redistribuição dos fotoassimilados, e conseqüentemente, uma melhor formação dos grãos. Para a dose de 750 mL.ha⁻¹ houve uma significativa redução da massa de mil sementes, principalmente quando se realizou duas aplicações do trinexapaque-etílico, correspondendo 13 % de diferença entre o maior e menor valor de MMS. Em elevadas doses, a planta teve seu crescimento fortemente reduzindo (27 % de redução na dose de 750 mL.ha⁻¹ em duas

aplicações quando comparada com a testemunha sem aplicação do redutor de crescimento) e conseqüentemente, alterou as relações fonte-dreno da planta, afetando a formação dos grãos destas plantas. Na cultura do trigo, Marco Junior et al. (2013) não observou diferenças significativas entre as diferentes doses testadas e a testemunha, com variações do peso entre 33,1 e 34,3g, indicando que esta variável tem um importante controle genético, pois segundo Rajala e Peltonen-Sainio (2001) a influência de reguladores de crescimento na massa de mil grãos é muito pequena.

Figura 10 – Massa de mil sementes de sorgo sacarino em diferentes doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.

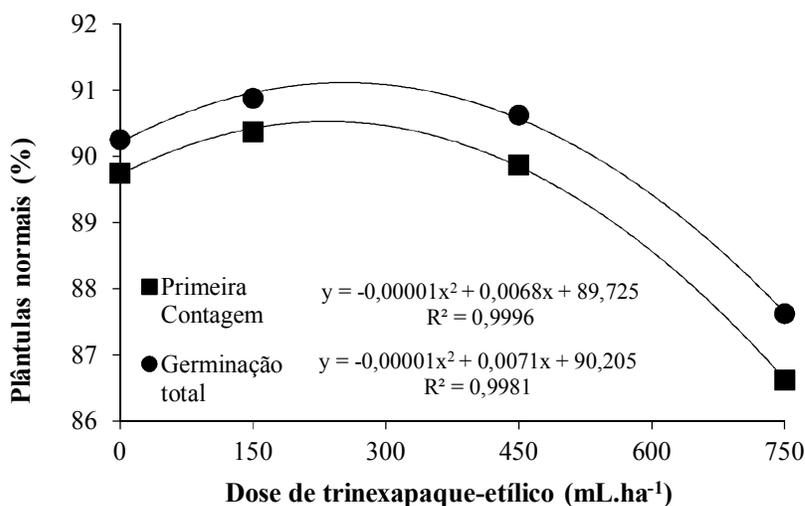


Fonte: Autor.

Para um bom estabelecimento da cultura no campo e a garantia de uma boa produtividade, o vigor, a germinação e a emergência das sementes são fatores primordiais. A primeira contagem do teste de germinação é um importante método para verificar o vigor do lote de sementes, e, segundo Marcos Filho et al. (1987), as sementes das amostras que germinam e apresentam maior porcentagem de plântulas normais mais rapidamente, são consideradas mais vigorosas. Pode-se observar o efeito da aplicação do redutor de crescimento, reduzindo a quantidade de sementes germinadas no quarto dia para a maior dose aplicada (Figura 11). Conseqüentemente, esse efeito se repetiu para o teste de germinação total, avaliado no oitavo dia após a semeadura. No entanto, apesar da redução do valor observado para essas variáveis, segundo a legislação brasileira (Instrução Normativa N^o 45,

do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), seriam viáveis para a comercialização e utilização como sementes, que prevê o valor mínimo de 80 % de germinação do lote (BRASIL, 2013).

Figura 11 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes de primeira contagem do teste de germinação (vigor) e germinação total de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.



Fonte: Autor.

O aumento do número de aplicações do trinexapaque-etílico, afetou negativamente o vigor, germinação e emergência das sementes do sorgo, apresentando reduções estatisticamente significativas de 4,3%, 3,6% e 3,5% para os testes de primeira contagem, germinação e emergência (Tabela 8). Utilizando este mesmo regulador de crescimento sobre as plantas de sorgo sacarino, May et al. (2013) observaram redução de 26,6% no poder germinativo das sementes em relação à testemunha quando aplicado uma vez e quando aplicado duas vezes, promoveu perda completa da viabilidade das sementes, principalmente quando as doses utilizadas foram superiores a 3,75 L.h⁻¹. Na cultura da aveia branca, a utilização de redutor de crescimento na dose de 0,6 L.ha⁻¹ afetou negativamente a qualidade fisiológica das sementes de aveia branca, apresentando valores de primeira contagem e germinação de 64 e 62 % menores, respectivamente, quando comparados à testemunha sem aplicação do regulador de crescimento (KASPARY et al., 2015). Para verificar a importância das giberelinas na germinação de sementes, Aragão et al. (2001) conduziram um estudo com

sementes de milho super doce tratadas com GA3 (100 mg.L⁻¹), observaram melhor desempenho no vigor, primeira contagem da germinação, massa de matéria fresca da parte aérea, maior índice de velocidade de emergência e melhor emergência final de plântulas normais em areia. Entretanto, Souza et al. (2010) não observaram efeitos significativos na germinação de sementes de trigo oriundas de plantas mãe que receberam duas pulverizações foliares do regulador de crescimento em questão.

A germinação de sementes necessita de giberelinas nas possíveis etapas: ativação do crescimento vegetativo do embrião; enfraquecimento da camada do endosperma que envolve o embrião e restringe o seu crescimento e a mobilização das reservas energéticas do endosperma (RODRIGUES NETO et al., 2016). O antagonismo do regulador de crescimento à síntese de ácido giberélico pode ter reduzido a síntese da α -amilase, que é responsável por grande parte da degradação do amido da semente, que nutre o embrião no início do processo germinativo. Segundo Higgins et al. (1976) e Chandler et al. (1984) o GA aumenta a transcrição de genes que codificam α -amilase, através do maior teor de mRNA dessa enzima.

Tabela 8 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes de primeira contagem do teste de germinação (PCONT), germinação (GERM) e emergência de plântulas (EME) de sementes de sorgo sacarino submetidas a diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.

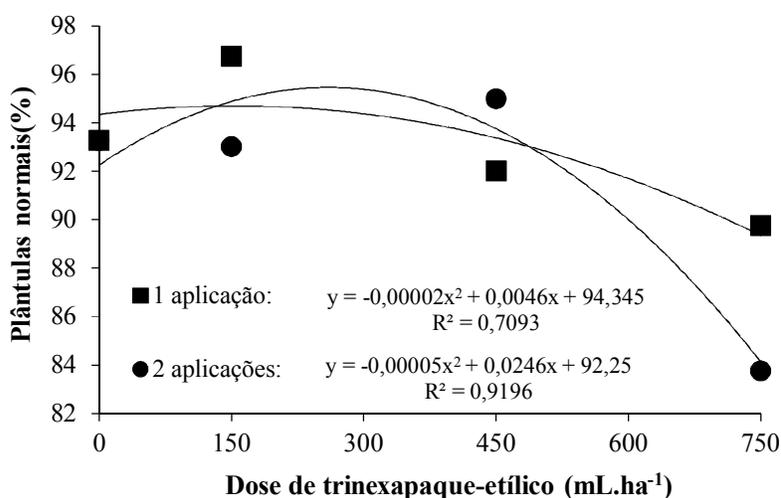
Número de Aplicações	Plântulas normais (%)		
	PCONT	GERM	EME
1 Aplicação	91,12 a*	91,5 a	87,81 a
2 Aplicações	87,19 b	88,19 b	84,75 b
Média	89,15	89,84	86,28
CV (%)	4,04	4,07	6,45

*Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

O teste de envelhecimento acelerado é muito utilizado para avaliação do vigor de sementes, pois submete-as ao estresse provocado pela ação conjunta da temperatura e umidade. Constata-se que o efeito da utilização de regulador de crescimento no cultivo do sorgo sacarino foi significativo apenas na interação dupla entre dose de trinexapaque-etílico e número de aplicações (Figura 12), de modo a reduzir a capacidade das sementes em suportar condições adversas e germinar posteriormente, se destacando a dose de 750 mL.ha⁻¹. Apesar desta redução, todos os tratamentos apresentaram valores superior a 80 % de plantas normais

após a aplicação do envelhecimento acelerado. Na cultura da aveia branca, Kaspary et al. (2015), observaram redução linear significativa da germinação após aplicação do envelhecimento acelerado das sementes oriundas de plantas tratadas com as maiores doses de trinexapaque-etílico. O valor mínimo de vigor, de aproximadamente 30%, foi verificado na maior dose testada no trabalho, a de 600 mL.ha⁻¹.

Figura 12 – Percentual de plântulas normais obtidas nos testes envelhecimento acelerado (ENVL) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses e número de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.

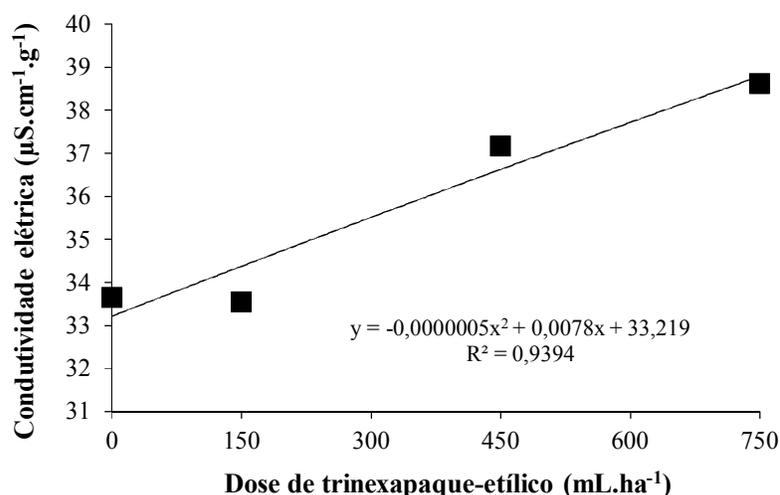


Fonte: Autor.

A variável condutividade elétrica foi significativa apenas para o fator dose de trinexapaque-etílico, apresentando uma correlação positiva, a qual se elevou com o aumento da dose do regulador de crescimento nas plantas mãe da cultura, principalmente nas maiores doses (450 e 750 mL.ha⁻¹), demonstrando que esta aplicação se torna prejudicial e desvantajosa na sua utilização para obtenção de sementes com qualidade fisiológica elevada (Figura 13). Segundo Marcos Filho (2005), este teste estabelece que sementes mais deterioradas e menos vigorosas apresentam menor velocidade de restabelecimento da integridade das membranas celulares durante a embebição, e conseqüentemente, extravasam maior quantidade de solutos para o meio exterior (açúcares, aminoácidos, eletrólitos e outras substâncias solúveis em água). Para Kaspary et al. (2015) ocorreu má formação e organização regular das paredes celulares das células, pois o sistema de membranas celulares é a última

estrutura a organizar-se antes da maturidade fisiológica e a primeira a exibir as alterações degenerativas que caracterizam a deterioração das sementes.

Figura 13 – Condutividade elétrica (COND, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.



Fonte: Autor.

O comprimento total de plântulas, parte aérea e radicular são importantes testes para verificar o vigor de um lote de sementes, pois suas diferenças, geralmente são bem visíveis e podem ser mensuradas. Para Nakagawa (1999) a determinação do comprimento médio das plântulas normais ou partes destas é realizada, tendo em vista que as amostras que apresentam os maiores valores médios são as mais vigorosas.

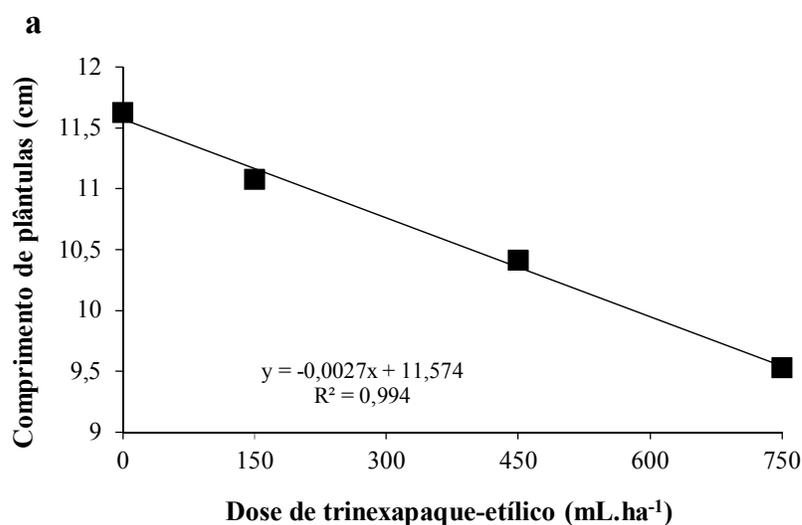
O efeito da dose do regulador de crescimento se mostrou significativo para as variáveis comprimento de plântulas e comprimento da parte aérea, de modo a reduzir o comprimento à medida que se elevou a dose aplicada nas plantas mãe do sorgo, ficando mais uma vez expresso o efeito negativo do uso de reguladores de crescimento no desempenho fisiológico das sementes de sorgo sacarino (Figuras 14a e 14b). Efeito semelhante foi observado por Kaspary et al. (2015) na cultura da aveia branca, onde as maiores doses do regulador proporcionaram sementes menos vigorosas, com reduções no comprimento do hipocótilo, sistema radicular e plântulas.

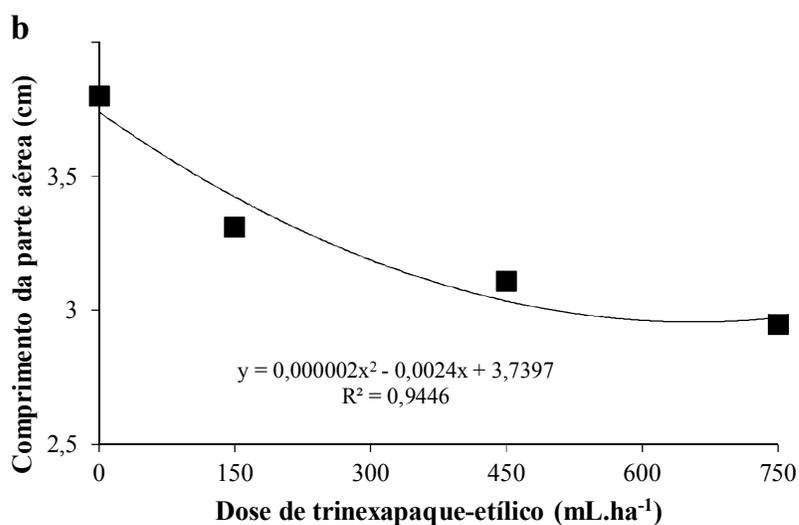
Em estudos conduzidos com a aplicação direta de ácido giberélico em sementes para verificar seu efeito no crescimento de plântulas, destaca-se o de Aragão et al. (2006), que verificaram benefício no crescimento de plântulas pela aplicação de ácido giberélico em

sementes diploides e tetraploides de melancia. No entanto, para Flores et al. (2002), o efeito do tratamento das sementes com ácido giberélico no vigor das plântulas de arroz varia de acordo com a cultivar. De acordo com Schmidt et al. (2003), a ação de uma substância reguladora de crescimento depende de fatores ambientais, número e período de aplicação, concentração utilizada, estágio de crescimento da planta e da espécie ou cultivar tratada.

Quanto ao comprimento radicular, não se observou efeito significativo em relação a dose aplicada, corroborando com trabalhos de Santos et al. (2013) e Wagner Júnior et al. (2008) com aplicação de ácido giberélico em sementes de maracujazeiro amarelo e mudas de pessegueiro, respectivamente. Para Taiz e Zeiger (2013), embora o crescimento do caule possa ser significativamente aumentado por GAs, pouco efeito ocorre no crescimento da raiz. No entanto, o comprimento radicular foi afetado negativamente pelo número de aplicações do regulador de crescimento (Tabela 9).

Figura 14 – Comprimento total de plântulas (a) e comprimento da parte aérea (b) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.

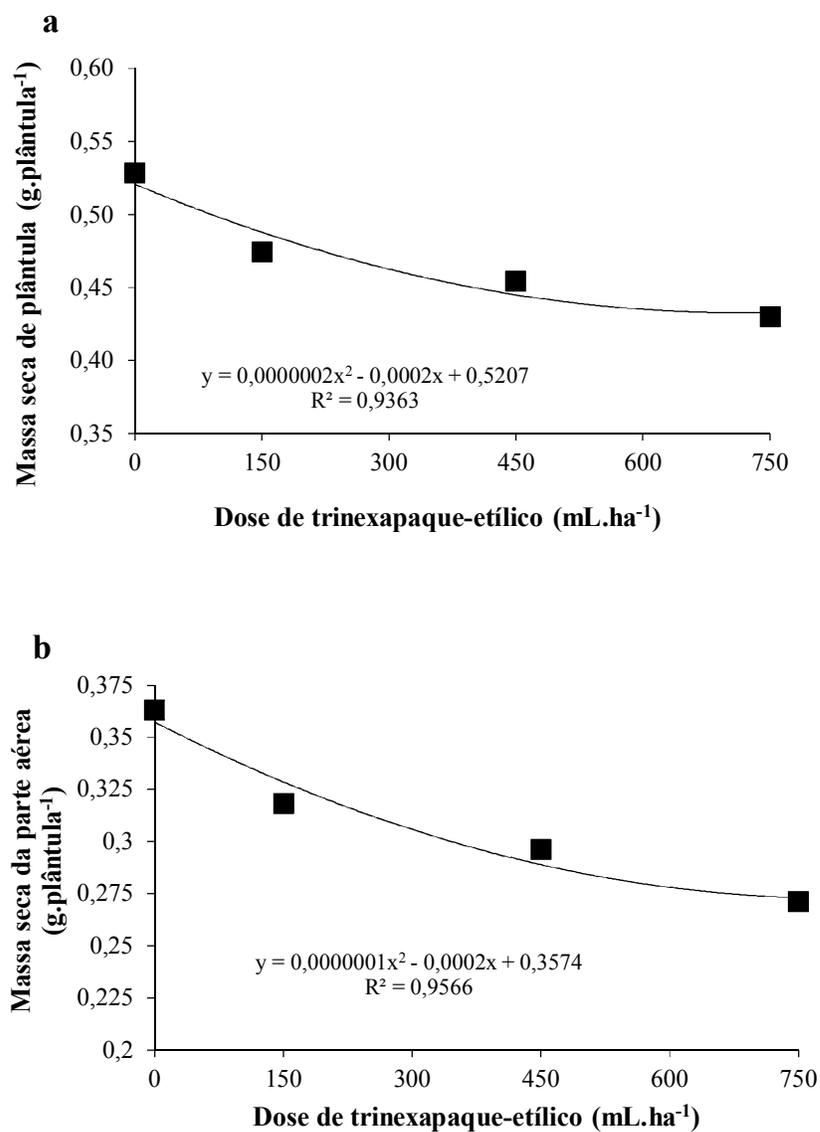




Fonte: Autor

Os testes de massa seca de plântulas, parte aérea e radicular são bons indicadores do vigor das sementes, de modo que, as amostras que apresentam maior massa seca são consideradas mais vigorosas. As sementes vigorosas proporcionam maior transferência de massa seca de seus tecidos de reserva para o eixo embrionário, na fase de germinação, originando plântulas com maior peso, em função do maior acúmulo de matéria (NAKAGAWA, 1999). Observou-se reduções na massa seca da parte aérea e total da plântula com o aumento da dose do trinexapaque-etílico (Figuras 15a e 15b) e do número de aplicações do produto (Tabela 9).

Figura 15 – Massa seca total de plântulas (a) e massa seca da parte aérea (b) de sementes de sorgo sacarino em diferentes doses de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.



Fonte: Autor

Tabela 9 – Comprimento radicular (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento total de plântulas (CTOT), massa seca radicular (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total de plântulas (MSTOT) de sementes de sorgo sacarino em diferentes números de aplicações de trinexapaque-etílico. Santa Maria, RS, 2019.

Número de Aplicações	CR	CPA	CTOT	MSR	MSPA	MSTOT
1 Aplicação	7,74 a	3,36 a	11,10 a	0,169 a	0,334 a	0,50 a
2 Aplicações	6,99 b	3,23 a	10,22 a	0,149 b	0,291 b	0,44 b
Média	13,58	13,75	12,63	9,54	13,75	11,04
CV (%)	7,37	3,29	10,66	0,159	0,312	0,471

*Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

CONCLUSÕES

Ocorre diminuição da qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino oriundas de plantas que receberam aplicações trinexapaque-etílico, principalmente com o aumento do número de aplicações. Assim, a utilização de sementes provindas de plantas que receberam aplicações de trinexapaque-etílico, mesmo em doses baixas, deve ser evitada para fins de multiplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 28 de nov. de 2018.

ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Espaçamento entre fileiras e Densidade de semeadura do Sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.

AMREIN, J.; RUFENER, M.; QUADRANTI, M. The uses of CGA 163'935 as a growth regulator in cereals and oilseed rape. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE: WEEDS, 1989, Brighton. **Proceedings...** Surrey: BCPC, 1989. p. 2-12.

ARAGÃO, C. A. et al. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 43-48, 2003.

ARAGÃO, C. A. et al. Germinação e vigor de sementes de melancia com diferentes ploidias submetidas a tratamentos pré-germinativos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 82-86, 2006.

ARAGÃO, C. A. et al. Fitorreguladores na germinação e no vigor de sementes de milho super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 1, p. 62-67, 2001.

ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1995, 356 p.

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, 2016.

BECK, E.; ZIEGLER, P. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, n. 2, p. 95-117, 1989.

BOTELHO, B. A.; PEREZ, S. C. J. G. A. Estresse hídrico e reguladores de crescimento na germinação de sementes de canafistula. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 43-49, 2001.

BRASIL. **Instrução normativa nº 45**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. MAPA, 2013. 22 p.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF. MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CARVALHO, M. E. A. et al. Efeitos de Redutores de Crescimento Sobre o Desenvolvimento Inicial do Sorgo Sacarino. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - **Anais...** Águas de Lindóia, SP, 2012.

CHANDLER, P.M. et al. The effect of gibberellic acid and abscisic acid on α -amilase mRNA levels in barley aleurone layers. Studies using the α -amilase cDNA clone. **Plant Molecular Biology**, London, v. 3, n. 6, p. 407-418, 1984.

DINIZ, G. M. M. **Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) - Aspectos Gerais**. 2010. 23 p. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2010.

DUNN, G. A model for starch breakdown in higher plants. **Phytochemistry**, Oxford, v. 13, n. 2, p. 1341-1341, 1974.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público Privada: Oportunidades, Perspectivas e Desafios**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2012.

EMBRAPA. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2. **Cultivo do Sorgo – Clima**. 9ª Edição, julho de 2015. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 18 de dez. de 2018.

FAGERNESS, M. J.; PENNER, D. 14 C-Tranexapac-ethyl absortionad translocation in Kentucky bluegrass. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 1023-1027, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FLORES, I. F. et al. Tratamento de sementes com ácido giberélico e crescimento de plântulas de arroz (*Oryza sativa*, L.). **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 9, n. 1, p. 73-78. 2002.

HIGGINS, T. J. V.; ZWAR, J. A.; JACOBSEN, J. V. Gibberellic acid enhances the level of translatable mRNA for α -amilase in barley aleurone layers. **Nature**, London, v. 260 p. 166-169, 1976.

KASPARY, T. E. et al. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade de sementes de aveia-branca. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015.

LAMAS, F. M. Estudo comparativo entre cloreto de mepiquat e cloreto de chlormequat aplicados no algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online], vol. 36, n. 2, p. 265-272, 2001.

LEVITT, J. **Introduction to plant physiology**. 2. ed. Saint Louis: The C.V. Mosby Company, 1974. 447p.

LIMA, G. P. P.; RODRIGUES, J. D.; BRASIL, O. G. Efeito de giberelina em variáveis bioquímicas durante o crescimento inicial de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado in vitro. I-teores de açúcares redutores e proteínas. **Científica**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 265-274, 1993.

LINZMEYER JUNIOR, R. et al. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

MARCO JUNIOR, J. de; CORREA, D.; NAKAI, E. H. Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl na produtividade de trigo. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 1, p. 14-19, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade de sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p.

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

MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of plants**. 4. ed. Oxford: Pergamon Press, 1978. 270 p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1-2.24.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Integrated energy systems in China: the cold Northeastern region experience**. Rome: FAO, 1994. 475 p.

NAQVI, S. S. M. Plant growth hormones: growth promoters and inhibitors. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 527-556.

NICCHIO, B. et al. Ácido húmico e bioativador no tratamento de sementes de milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 2, n. 2, p. 61-73, 2013.

PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético de sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 13-15, 2011.

PAUL, C.L. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del sorgo. In: PAUL, C.L. *Agronomía del sorgo Patancheru*: ICRISAT, 1990. p. 43-68.

RAJALA, A.; PELTONEN-SAINIO, P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot Growth. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 936-943. 2001.

RODRIGUES NETO, A. D. et al. Influência do etil-trinexapac no processo germinativo da semente do tomateiro. **Revista Mirante**, Anápolis, GO, v. 9, n. 2, dez. 2016.

RODRIGUES, J. A. S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS – TEMAS EM EVIDÊNCIA, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, p. 179-236, 2000.

RODRIGUES, O. et al. **Redutores de crescimento**. (Circular Técnica 14). Embrapa Trigo, 2003.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo** (comunicado técnico). MAPA. Sete Lagoas, nov. 2003.

SANTOS, C. A. C. dos et al. Germinação de sementes e vigor de plântulas de maracujazeiro amarelo submetidos à ação do ácido giberélico. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 400-407, mar./abr. 2013.

SANTOS, C. M.; VIEIRA, E. L. Efeito de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento inicial do algodoeiro. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 17, n. 3, p. 124-130, 2005.

SANTOS, C. R. S. **Stimulate® na germinação de sementes, vigor de plântulas e no crescimento inicial de soja**. 2009. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2009.

SCHMIDT, C. M. et al. Ácido giberélico (GA3) no crisântemo (*Dedranthema grandiflora* Tzvelev.) de corte ‘viking’: cultivo de verão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 267-274, 2003.

SOUZA, L. T. et al. Growth retardants in wheat and its effect in physiological quality of seeds. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1431-1434, 2010.

SWAIN, S. M.; SINGH, D. P. Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. **Trend Plants Science**, London, v. 10, p. 123-129, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

VIEIRA, R. D. **Teste de condutividade elétrica**. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: Funep, p. 103-139, 1994.

WAGNER JÚNIOR, A. et al. Ácido giberélico no crescimento inicial de mudas de pessegueiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1035-1039, jul./ago. 2008.

ZAGONEL, J. et al. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 25-29, 2002.