

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Josana Andreia Langner

**MILHO CRIOULO E MELHORADO: TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NA PERSPECTIVA DA SEGURANÇA E SOBERANIA
ALIMENTAR**

Santa Maria, RS, Brasil.
2018

Josana Andreia Langner

**MILHO CRIOULO E MELHORADO: TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NA PERSPECTIVA DA SEGURANÇA E SOBERANIA ALIMENTAR**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM- RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil.
2018

Langner, Josana Andreia
MILHO CRIOULO E MELHORADO: TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NA PERSPECTIVA DA SEGURANÇA E SOBERANIA
ALIMENTAR / Josana Andreia Langner.- 2018.
96 p.; 30 cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Coorientador: Mirta Teresinha Petry
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018


1. Zea mays L 2. Variabilidade genética 3. Produção de
alimentos 4. FATS 5. Déficit hídrico I. Streck, Nereu
Augusto II. Petry, Mirta Teresinha III. Título.

Josana Andreia Langner

**MILHO CRIOULO E MELHORADO: TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NA PERSPECTIVA DA SEGURANÇA E SOBERANIA ALIMENTAR**

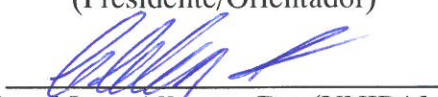
Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM- RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Agrícola.**

Aprovada em 25 de maio de 2018:



Nereu Augusto Streck, Ph.D.

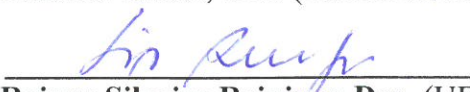
(Presidente/Orientador)



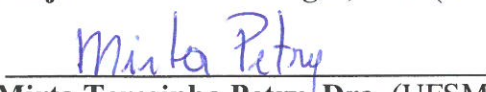
Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA)



Luana Fernandes Tironi, Dra. (EMATER/RS-ASCAR)



Lia Rejane Silveira Reiniger, Dra. (UFSM)



Mirta Teresinha Petry, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS.

2018.

DEDICATÓRIA

As colegas Camila Coelho Becker e Lilian Osmari Uhlmann, como também as professoras Isabel Lago e Lia Silveira Reiniger que me estenderam a mão e me abrigaram em suas casas quando fiquei desamparada. Também a professora Angelica Durigon, pelas palavras incentivadoras e acolhedoras ditas nos momentos de aflição. Assim como o colega Charles de Freitas e Verlaine Selli. A essas pessoas, excelentes profissionais e acima de tudo, humanas...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço de forma especial aos colegas Charles Patrick de Freitas, Tais Slim, Lúcio Gabriel Scheffel, Verlaine Selli, Alexandre Ferigolo Alves, Stefanía da Silva e demais colegas do grupo de Agrometeorologia da sala 02 pela ajuda na coleta de dados dos experimentos. Principalmente nas medidas de área foliar de plantas de cultivares crioulas que atingiam até 5 metros de altura e no experimento da FATS, pesando vasos por vários dias.

As colegas, Camila Becker e em especial Lilian Uhlmann por todo apoio e parceria desde a graduação.

A pessoa que mais foi meu apoiador, amigo, companheiro, incentivador e que possui o dom de simplificar as coisas, meu namorado Douglas Dalla Nora.

A Daniela Dalla Nora, amiga, companheira que me acolheu em sua casa, me aconselha e me incentiva a continuar.

As professoras Isabel Lago, Angelica Durigon e Lia Reiniger pelo apoio de sempre e pelos ensinamentos compartilhados.

À minha família, que mesmo não estando presente me apoia.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela colaboração e atenção sempre que precisei.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do trabalho.

Ao CNPq e a CAPES pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Nereu Augusto Streck, por toda ajuda, apoio e exemplo que tem sido durante todos estes anos.

Muito obrigada!

RESUMO

MILHO CRIOULO E MELHORADO: TOLERÂNCIA A DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA PERSPECTIVA DA SEGURANÇA E SOBERANIA ALIMENTAR

AUTORA: JOSANA ANDREIA LANGNER
ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Os principais objetivos deste trabalho foram (i) discutir a importância da cultura do milho na atualidade e o papel crucial que pode desempenhar no futuro para a produção de alimentos em cenários de deficiência hídrica, bem como, a importância de conservar as cultivares crioulas, que detêm uma parcela considerável dessa reserva de variabilidade genética e (ii) comparar a tolerância à deficiência hídrica de cultivares melhoradas e crioulas de milho em campo e em ambiente de exclusão de chuva determinar a Fração de Água Transpirável no Solo (FATS) na fase reprodutiva. As informações reunidas demonstram que, em vários locais, com o auxílio do Melhoramento Genético, foram fixadas nas plantas características que conferem tolerância a deficiência hídrica. Conclui-se que, para uma cultivar ser aceita pelos produtores, além das características de adaptação, precisa ter alta produção de grãos e informações dessas características precisam ser divulgadas. Para conhecer a tolerância de cultivares com diferente variabilidade genética, foram conduzidos experimentos de campo nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2016/2017, 2017/2018 para a FATS, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS. Pelo experimento no campo foi possível verificar que as cultivares crioulas apresentaram produtividade similar no sistema irrigado e não irrigado, enquanto as melhoradas demonstraram aumento sob irrigação. Para a FATS, o ‘AS 1573PRO’ e ‘Cinquentinha’ apresentaram valores similares no primeiro ano, e ‘Bico de ouro’, menor; já no segundo ano ‘AS 1573PRO’ apresentou maior FATS, seguido pela ‘Cinquentinha’ e, novamente, menor a ‘Bico de ouro’. A cultivar ‘AS 1573PRO’ possui maior tolerância indicada pela FATS, quando se trata de um período curto de deficiência. ‘Cinquentinha’ demonstrou tolerância menor pela FATS, porém como indicado pelas medidas de trocas gasosas, em condições com estresse hídrico prolongado, é mais tolerante. Esta cultivar crioula produz grãos mesmo em condições extremas de deficiência hídrica.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Variabilidade genética. Produção de alimentos. FATS. Déficit hídrico.

ABSTRACT

LANDRACE AND IMPROVED: TOLERANCE TO WATER DEFICIT ON A PERSPECTIVE OF FOOD SECURITY

AUTHOR: JOSANA ANDREIA LANGNER

ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK

The objectives of this thesis were to (i) discuss the importance of maize crop nowadays and its crucial role in the future for food production in scenarios of water deficit, and its importance in the conservation of landrace cultivars, which hold a considerable part of this reserve of genetic variability and (ii) to compare the tolerance to water deficit of improved and landrace, maize cultivars in the field and in rain excluded environment and to determine FATS threshold in the reproductive period. Information from the temperature shows that in several places, with the aid of the Genetic Improvement, the characteristic of plants that lead to drought tolerance were established. It is concluded that for a cultivar to be accepted by the farmers, in addition to the adaptation characteristics, it must have a high grain yield and information needs to be disclosed. To quantify the tolerance of local cultivars, field experiments were conducted in the 2015/2016, 2016/2017 and 2016/2017, 2017/2018 growing season for FTSW in the experimental area of the Plant Science Department at UFSM, Santa Maria, RS. The landraces cultivars presented similar yield in the irrigated and non irrigated system, while the improved cultivars increased yield in the irrigated. For FTSW, 'AS 1573PRO' and 'Cinquentinha' presented similar values in the first year, and 'Bico de ouro' was smaller. In the second year 'AS 1573PRO' presented FTSW, followed by 'Cinquentinha' and again smaller 'Bico de ouro'. The cultivar 'AS 1573PRO' had the highest tolerance indicated by FTSW, in a short period of deficiency. The 'Cinquentinha' showed a smaller tolerance for FTSW, but as indicated by gas exchange measurements under conditions with prolonged water stress, it is more tolerant, producing ears with grains even under extreme conditions of water deficit in the FATS experiment.

Keywords: *Zea mays* L. Genetic variability. Food production. FTSW. Water deficit.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1– Imagem ilustrativa das espigas das cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (a) e ‘Bico de ouro’ (b), Santa Maria, RS. 27

ARTIGO 2

Figura 1: Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diárias do ar (°C) e radiação solar global diária ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$), durante o ciclo de desenvolvimento das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘Cinquentinha’ em dois anos agrícolas 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’), nas condições de Santa Maria, RS. 77

Figura 2: Variação diária de precipitação pluvial (mm) e irrigação (mm) para Santa Maria, RS, durante o ciclo de desenvolvimento das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘BRS Planalto’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ nos anos agrícolas 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’). As setas com linha tracejada indicam a duração média em dias das fases de desenvolvimento entre Emergência - Pendoamento (EM-VT), Pendoamento – Espigamento (VT-R1) e Espigamento – Maturidade fisiológica (R1-R6) para a cultivar ‘Bico de ouro’ de ciclo tardio, e as setas com linhas cheias para as cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘BRS Planalto’ e ‘Cinquentinha’, todas de ciclo precoce. 78

Figura 3: Evolução de número de folhas (folha pl^{-1}) expandidas (Exp) e totais (Tot) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Número de plantas que atingiram o pendoamento (VT) e o espigamento (R1) é apresentado nas inserções de cada painel. Letras maiúsculas nos painéis indicam diferença estatística entre o número de folhas expandidas em relação ao total no experimento com déficit, e minúscula em relação ao experimento com déficit. 79

Figura 4: Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ($\text{umol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (A, B), Condutância estomática (gs) (C, D), transpiração (E) (E, F) e taxa máxima de fotossíntese (A) (G, H) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’ (AS- sem déficit e AS- com déficit), ‘Bico de ouro’ (B- sem déficit e B- com déficit) e ‘Cinquentinha’ (C- sem déficit e C- com déficit), durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. 80

Figura 5: Área foliar verde ($\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2}$) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’, medidas durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa

Maria, RS. Valores positivos indicam crescimento foliar em centímetros, valores negativos indicam senescência foliar em centímetros. 81

Figura 6: Estatura de planta (cm) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ medidas no primeiro dia de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 (2017/2018) e no último dia do período 07/03/2017 (2016/2017) e 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Letras minúsculas diferenciam a estatura inicial e final de cada cultivar em cada tratamento (sem déficit e com déficit). Letras maiúsculas diferenciam a estatura de cada cultivar entre os tratamentos no início e final do período. 82

Figura 7: Massa seca (g) das plantas das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ coletadas no início e no final do período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Letras minúsculas diferenciam massa seca inicial, sem déficit e com déficit de raízes e parte aérea (folhas, colmo, pendão e espiga) de cada cultivar. Letras maiúsculas diferenciam a massa seca de raízes e parte aérea (folhas, colmo, pendão e espiga) entre as cultivares no início dos experimentos e nos tratamentos sem déficit e com déficit.... 83

Figura 8: Transpiração relativa normalizada (TRN) em função da fração de água transpirável do solo (FATS) das cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS..... 84

DISCUSSÃO GERAL

Figura 1 - Imagem das plantas de milho para ilustrar o efeito da deficiência hídrica, comparando as plantas das cultivares com e sem déficit hídrico. Cultivar ‘AS 1573PRO’ (a), ‘Cinquentinha’ (b) e ‘Bico de ouro’ (c) fotografadas no último dia do período de déficit hídrico 07/03/2017 do ano agrícola 2016/2017. Santa Maria – RS. 88

LISTA DE TABELAS

ARTIGO II

Tabela 1: Produtividade (ton ha^{-1}) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ no ano agrícola 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’), no sistema de manejo irrigado e não irrigado nas condições de Santa Maria, RS. 85

Tabela 2: Transpiração relativa normalizada (TRN) em função da fração de água transpirável do solo (FATS) das cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS..... 86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 HIPÓTESES	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE MILHO	15
2.2. HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO MILHO	16
2.3. MILHO NO CONTEXTO ATUAL	18
2.4 MILHO NO BRASIL	19
2.5 MILHO NO RIO GRANDE DO SUL	20
2.6. CULTIVARES DE MILHO	22
2.6.1 Crioulas.....	22
2.6.2 Híbridos	27
2.6.3 Cultivar convencional e transgênica.....	30
2.7. ESTRESSE HÍDRICO NO MILHO.....	31
2.8 RESPOSTAS DAS PLANTAS DE MILHO AO ESTRESSE HÍDRICO	32
3. ARTIGO 1	37
5. ARTIGO 2	59
6. DISCUSSÃO GERAL.....	87
7. CONCLUSÕES	89
8. REFERÊNCIAS	90

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As projeções apontam para um grande aumento da população mundial até 2050, o que implica em necessidade de aumentar também a produção de alimentos. Para aumentar a produção de alimentos é necessário somar avanços tecnológicos com biodiversidade, com variabilidade genética biodiversidade e aumento na produtividade das culturas. Somado a este desafio o cenário é de mudança climática, que aponta para condições de estresse causados por eventos extremos, como secas severas, que causarão falta de água para os cultivos agrícolas.

O milho é uma espécie agrícola que dotada de ampla variabilidade genética, que pode conferir rusticidade e adaptação às cultivares, características que podem ser cruciais para a produção de alimentos dele derivados em condições de restrição hídrica. Porém, deve ser ressaltado que a produção do milho possui estreita relação com a disponibilidade de água, e se correr falta de água no período que compreende a floração, sua produção poderá ser comprometida em parte ou totalmente. Dessa maneira, estudos que identifiquem cultivares tolerantes à deficiência hídrica neste período são fundamentais para contribuir com os avanços no Melhoramento Genético desta cultura.

Muitos estudos científicos já foram realizados em todo o mundo para desenvolver novas cultivares de milho mais adaptadas às condições de estresse abiótico. A maioria dos processos de Melhoramento ocorreu através de seleção recorrente com o intuito de inserir genes de adaptação encontrados nas cultivares crioulas, dotadas de ampla variabilidade genética, com o intuito de garantir que produzam mesmo em condições de estresse abióticos. As informações desses trabalhos estão disponíveis em diversas fontes, sendo importante reunir essas informações e torná-las disponíveis para que mais pessoas conheçam o que já foi tentado, que sucesso foi obtido, e, a partir disso, também se avance nas pesquisas locais.

Em especial ao que diz respeito ao estresse por água, conhecer a tolerância à deficiência hídrica de cultivares de milho com diferente variabilidade genética é fundamental nas condições locais, uma etapa primordial para a pesquisa e a produção. Estudos realizados em nível de campo, objetivando conhecer a resposta das plantas à deficiência hídrica são difíceis e, muitas vezes, não produzem resultados satisfatórios, haja vista não ser possível controlar todas as variáveis, principalmente no que diz respeito à distribuição e total de chuva. Muitos métodos têm sido propostos para avaliar a deficiência hídrica do solo, porém nem todos incluem as plantas no estudo, o que os torna limitados quando o intuito é associar a falta de água no solo e a respectiva resposta das plantas.

Um dos métodos que tem se mostrado o mais completo no estudo da resposta das plantas a deficiência hídrica é denominado Fração de Água Transpirável no Solo – FATS. Com o emprego deste método é possível determinar o momento em que as plantas iniciam o fechamento dos estômatos, como resposta da planta à falta de água, denominada FATS crítica. A FATS crítica já foi determinada para a cultura do milho em estágio vegetativo, mas somente quando as plantas estavam no início do ciclo de desenvolvimento, sendo que, na fase mais crítica para a falta de água, não foram observados, na literatura, valores de FATS limitantes. Adicionalmente, por meio dessa metodologia também é possível comparar a tolerância a deficiência hídrica de cultivares dotadas de diferentes níveis de variabilidade genética.

1.2 HIPÓTESES

Cultivares melhoradas de milho são capazes de manter a produtividade em ambiente com restrição hídrica, assim como aumentar a produtividade quando maior quantidade de água é disponibilizada.

Cultivares crioulas de milho, que possuem maior nível de variabilidade genética, e mantêm produtividade estável em ambiente com restrição de água e apresentam baixa resposta a maior disponibilidade de água, pois possuem menor potencial produtivo.

Cultivares híbridas apresentam maiores valores de FATS, fechando antes os estômatos, sendo mais tolerantes à deficiência hídrica em curtos períodos de deficiência hídrica. Já as cultivares crioulas são mais tolerantes quando o período de deficiência hídrica é mais prolongado, em decorrência do fato de alguns genótipos da população manter a abertura estomática e produzirem grãos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Ampliar as informações sobre a tolerância a deficiência hídrica em milho e melhorar o conhecimento a respeito da tolerância a deficiência hídrica de cultivares com diferente nível de variabilidade genética.

1.2.2 Objetivos Específicos

Discutir a importância da cultura do milho, destacando o papel crucial que esta cultura pode desempenhar em cenários de restrição hídrica, apresentando os esforços realizados em todo o mundo para inserir, nas cultivares utilizadas pelos agricultores, tolerância à deficiência hídrica.

Melhorar o conhecimento sobre a tolerância a deficiência hídrica em cultivares de milho com diferentes níveis de variabilidade genética, na fase de maior sensibilidade, em campo e por meio da metodologia da Fração de Água Transpirável no Solo (FATS).

Determinar a FATS crítica em milho crioulo e de polinização aberta, visando quantificar os efeitos do déficit de água no solo nos processos morfológicos e fisiológicos dessas plantas para fins da modelação do crescimento e rendimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie de planta gramínea pertencente à família Poaceae (DOEBLEY, 2004). É uma planta de ciclo anual, cujo caule é do tipo colmo, esponjoso, que apresenta nós e entrenós, podendo atingir em torno de 1 a 4 metros de altura (BRIEGER et al., 1958; AUSTRALIAN, 2008). Suas folhas são inseridas nos nós, em distribuição alternada e dispostas de forma dística, sendo constituídas por bainha e lâmina. É uma planta monoica com flores unissexuais (flores ginoicas e androicas na mesma planta, em posições diferentes), a inflorescência androica é do tipo panícula, sendo onde se formam os grãos de pólen e os gametas. As inflorescências ginoicas desenvolvem-se nas axilas das folhas, sendo formadas pela ráquis (sabugo) e pelas espiguetas de onde se desenvolvem os estigmas que, ao serem atravessados pelo tubo polínico propiciarão a fecundação da oosfera pelo núcleo generativo, transportado pelo pólen, formando o núcleo do embrião da semente ou grão assim produzidos (BRIEGER et al., 1958; KATO et al, 2009).

A planta do milho é alógama, com predomínio de fecundação cruzada e menos de 10% de autofecundação, assegurada pela já mencionada monoicia e pela protandria, separação temporal no amadurecimento dos órgãos sexuais que, neste caso, significa maior precocidade do androceu (BESPALHOK et al., 2016). Sua polinização ocorre por ação do vento, quando

os grãos de pólen do pendão são levados até os estigmas das plantas próximas ou da própria planta (SANGOI; SILVA, 2010).

Os grãos ou sementes são frutos independentes chamados cariopse, constituídos pelo pericarpo, endosperma e embrião, os quais conferem as propriedades físico-químicas como cor, textura, tamanho, e que foram importantes para a seleção do grão de milho como alimento (KATO et al., 2009; GONÇALVES E LORENZI, 2011). Nesse sentido cabe ressaltar que uma das características de destaque do milho é seu elevado potencial para produção de biomassa, pois a partir de um grão com peso aproximado de 300mg é possível produzir uma planta que, em média, alcança entre 2 a 3m de estatura e é capaz de produzir até 1000 grãos semelhantes àquele que lhe deu origem (SANGOI & SILVA, 2010).

O milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracterizam por apresentar alta eficiência de uso da radiação solar e que expressam sua maior produção quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja deficiência hídrica (BERGAMASCHI et al., 2004). O desenvolvimento da planta de milho segue um padrão geral, porém os intervalos de tempo entre uma fase e outra e o número final de folhas, pode variar, dependendo da cultivar e das condições ambientais (RITCHIE et al., 1993).

O ciclo de desenvolvimento do milho possui uma fase vegetativa, representada pelos estágios vegetativos formados pela letra “V” e um algarismo correspondente, e fase reprodutiva, representada pelos estágios reprodutivos formados pela letra “R” e um algarismo (RITCHIE et al., 1993; MAGALHÃES et al., 2002). A fase vegetativa inicia com a emergência da planta (EM) e finaliza quando ocorre o pendoamento (VT). Os estágios V são considerados a cada nova folha totalmente expandida, sendo V1 uma folha completamente expandida, V2 duas completamente expandidas, e assim sucessivamente até VT (BERGAMASCHI; MATZENUER, 2014; RITCHIE et al., 1993). Os estágios reprodutivos tem início quando ocorre R1, considerado quando qualquer estigma é visível fora da palha da espiga, até R6, quando ocorre a maturação fisiológica. R6 indica que todos os grãos da espiga atingiram seu máximo acúmulo de matéria seca, iniciando a perda de água a partir desse momento. Entre os estágios R1 e R6 situam-se os estágios R2 - grão leitoso, R3 - grão pastoso, R4 - grão farináceo e R5 – grão farináceo duro (RITCHIE et al., 1993).

2.2. HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO MILHO

O milho (*Zea mays* ssp. *mays*) foi domesticado a partir de uma espécie ancestral silvestre, o teosinto Balsas (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), à cerca de 9000 mil anos atrás (MATSUOKA et al., 2002; PRASANNA, 2010). O teosinto é uma gramínea com muitos afilhos e as inflorescências que dão origem às espigas são pequenas e encontram-se nos nós superiores dos colmos (KATO et al., 2009).

A domesticação do milho acredita-se que ocorreu na região do Centro-sul do México, onde os agricultores faziam o melhoramento das suas cultivares, selecionando aquelas que apresentavam melhor adaptabilidade para serem levadas para novos ambientes, com isso, muitas outras novas cultivares foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo (MATSUOKA et al., 2002). Considera-se que o milho desempenhou papel tão importante para o desenvolvimento dos povos da América, quanto o trigo para os povos do “Velho Mundo”. Pois o milho foi base alimentar que possibilitou o desenvolvimento de várias civilizações importantes ao longo dos séculos, como os Incas no Peru e na Bolívia, os Astecas no México e os Maias na América Central (CONAGIN & JUNQUEIRA, 1966).

Através dos exploradores, o milho teve seu cultivo difundido para os demais continentes. Na Europa acredita-se que o milho começou a ser cultivado na Espanha, levado pelos exploradores já nas primeiras expedições de Colombo. Sendo a partir da Espanha levado para Portugal e Itália, enquanto pelos portugueses também foi levado para a África e, provavelmente, para a Ásia (KRUG 1966; REBOURG et al., 2003; DUBREUIL et al., 2006). A cultura do milho possui elevada importância no continente africano, onde este cereal teve o cultivo expandido e hoje, para diferentes locais do continente, é a cultura mais cultivada e com maior produção total de grãos (FAO, 2010; PRASANNA, 2010). Na América do Sul, o cultivo do milho já era realizado há mais de 4 mil anos pelos índios americanos, que produziam cultivares diferentes de acordo com a finalidade (PERRY et al., 2006).

Em seu país de origem, o milho continua sendo uma cultura com ampla importância, sendo parte da base alimentar de muitas pessoas, e onde mais de 75% dos agricultores semeiam e cultivam suas próprias sementes (MERCER et al., 2008). Os agricultores são atores chave na evolução das cultivares de milho ao fazer trocas e misturar sementes, ao realizarem seleção das cultivares por meio de suas práticas de manejo e escolhendo sementes com características desejáveis de espigas e grãos (MERCER et al., 2012).

O milho demonstra uma capacidade adaptativa muito ampla, sendo cultivado em regiões compreendidas entre latitudes de 58°N (Canadá e antiga União Soviética) a 40°S (Argentina), e nas mais diversas latitudes e altitudes, desde até 3,5 mil m de altura (Andes Peruanos) a abaixo do nível do mar (Região do mar Cáspio), com cultivares extremamente

precozes, utilizadas na península do Canadá até as cultivares tropicais da Bacia Amazônica (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000).

2.3. MILHO NO CONTEXTO ATUAL

Atualmente, o milho é um dos cereais mais importantes do mundo, tanto em cultivo quanto em consumo, apresentando elevado valor energético, é rico em vitaminas, proteínas, gorduras, amido e carboidratos, e tem ampla utilização na cozinha brasileira, como ingrediente para muitos pratos típicos como mingau, cuscuz, polenta, fubá, canjica e pamonha (PAES, 2006; COSTA, 2008). Diferente de outros grãos, como trigo e arroz, o milho quando processado na indústria mantém sua casca, que é rica em fibras, a qual pode ser consumida na nossa alimentação sem necessidade de refino. As diversas utilizações do milho incluem produtos como milho em conserva, óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais (PAES, 2006). O milho tem ainda outras aplicações, como na indústria de biocombustíveis, farmacêutica e química (ABIMILHO, 2018; FANCELLI; DOURADO NETO, 2008; GAZOLLA et al., 2014). O setor que possui maior demanda por milho é a indústria de ração animal que consome cerca de 70% da produção, sendo alimento para suínos, aves, bovinos e peixe (GARCIA et al., 2008).

O cultivo de milho é realizado em aproximadamente 160 milhões de hectares e em 125 países em todo o mundo (FAO, 2010). Para a safra 2017/2018, a projeção é de serem produzidos em torno de 1 bilhão de toneladas de milho, sendo que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial (88,9 milhões de toneladas). Estados Unidos é o maior produtor (365,5 milhões de toneladas), seguido da China (211,6 milhões de toneladas) (USDA, 2018; CONAB, 2018). Na África Oriental e Austral (ESA), o milho é a cultura mais importante, representando até 40 a 50% das calorias e proteínas consumidas no Malawi, Zimbábue e Zâmbia, que são os países mais dependentes do milho da região (CAIRNS et al., 2013).

O milho, devido a sua ampla adaptação, pode ser cultivado tanto em sistemas de manejo com alto nível tecnológico, caracterizados pelo uso de irrigação, pelo controle de pragas e doenças e pela maior aplicação de fertilizantes (ARGENTA et al., 2003), como também em sistemas produtivos que empregam médio a baixo investimento em insumos, como fertilizantes e produtos químicos, e, mesmo assim, obtendo produtividades rentáveis (SANDRI; TOFANELLI, 2008). A agricultura familiar brasileira, em particular, é responsável por 49% do milho produzido, o que a torna um segmento da atividade agrícola

com ampla relevância, em âmbito nacional, na produção de alimentos básicos consumidos pela população (LISITA, 2009).

2.4 MILHO NO BRASIL

No Brasil, o milho já era cultivado pelos índios antes dos navegadores portugueses aqui chegarem. Os portugueses verificaram que o milho era cultivado, tanto para alimento como para outros fins. Cada tribo cultivava determinadas cultivares de milho que estavam bem adaptadas às condições daquele local, sendo as mulheres indígenas as responsáveis pelo cultivo. As plantas apresentavam porte alto, os grãos tinham cores características, eram moles e as espigas, finas e compridas (CONAGIN & JUNQUEIRA, 1966; PATERNIANI, 1998). Após a chegada dos colonizadores, o consumo deste cereal aumentou consideravelmente devido à diversidade de usos, não só para alimento humano, como também para a alimentação de animais domésticos que eram criados para produzir carne, ovos, leite e banha, tornando o milho uma das mais importantes fontes de renda nas propriedades familiares (ZAGO, 2002).

Em importância econômica, o milho ocupa o segundo lugar no Brasil, perdendo apenas para a soja que é o grão mais produzido (CONAB, 2018). A maior parte do consumo mundial de milho em grão é na alimentação animal, cerca de 70%. No Brasil, entre 60 a 80% da produção são destinados para esse fim (ABIMILHO, 2018). Cerca de 88% da produção de milho no Brasil é realizada em propriedades familiares que utilizam geralmente tecnologias tradicionais e a produção também destinada a subsistência, destacando a importância social que o milho tem nas propriedades familiares (IBGE, 2006).

Até a metade dos anos 1970, a Região Sul do Brasil (estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) concentrava quase toda a produção de milho do país. A partir dos anos 1990, impulsionada pelo surgimento de agroindústria, gerou-se uma demanda maior de milho, incentivando o aumento da produção na região Centro-Oeste (CASTRO et al., 1995). Atualmente, os estados brasileiros que mais produzem milho são o Mato Grosso, maior produtor (26,7 milhões de toneladas), em segundo o Paraná (14,5 milhões de toneladas), enquanto no Rio Grande do Sul são produzidas 4,7 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

2.5 MILHO NO RIO GRANDE DO SUL

Foi também com os indígenas que se iniciou o cultivo de milho no Rio Grande do Sul, os quais o chamavam de “Avati”. Os índios produziam milho para consumo próprio e usavam os grãos com mandioca para produzir um tipo de bebida fermentada chamada “cauim”, e também faziam alguns tipos de farinha (CONAGIN & JUNQUEIRA, 1966; REBOLLAR, 2008). Os índios também produziam alguns tipos de milho pipoca e alguns milhos especiais que usavam em suas cerimônias tribais (BRIEGER et al., 1958; ZAGO, 2002). Tradicionalmente, uma forma marcante do uso do milho na cultura do Sul do Brasil é a tradição do consumo da polenta, prato típico produzido com a farinha de milho, receita que foi trazida pelos imigrantes italianos (COSTA, 2008).

Até os anos 1950, no Rio Grande do Sul, foram cultivadas somente cultivares do tipo Variedades de Polinização Aberta, 80% delas com grãos dentados de cor amarela, e somente 15% com grãos dentados, mas brancos, enquanto 5% apresentavam grãos duros e amarelos (KRUG et al., 1966). A partir de 1955, se iniciou no Brasil o desenvolvimento de híbridos duplos de grãos dentados e amarelos, sendo que em 1960 foi distribuído o primeiro híbrido duplo produzido a partir do cruzamento de híbridos simples obtidos entre as variedades ‘Tuxpan’ e ‘Santa Rosa’ (KRUG et al., 1966).

No Rio Grande do Sul o milho é produzido em todos os municípios (EMATER, 2012), na sua maioria em propriedades familiares, que possuem em média 20 hectares (DUTRA, 2005). Apesar dos aumentos significativos na produtividade de milho no Estado, reduções nas colheitas e até perdas de toda a produção acontecem com frequência devido à ocorrência de estiagens (MATZENAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2004). Nesse sentido, os fatores que tem contribuído para aumentar a produtividade são decorrentes dos avanços tecnológicos em manejo da cultura, insumos e Melhoramento Genético, além da redução dos riscos climáticos proporcionada pelo zoneamento agrícola (MATZENAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2004) e irrigação. A produção de milho possui estreita relação com a disponibilidade de água, pois o período compreendido entre a floração e o início do enchimento de grãos, mesmo sendo relativamente curto, é considerado crítico, no qual há maior sensibilidade à deficiência hídrica (SANTANA et al., 2014).

A precipitação pluvial normal no Rio Grande do Sul (RS) é bem distribuída ao longo do ano, com 24% ocorrendo no verão, 25%, no outono, 25%, no inverno e 26%, na primavera, porém, nos meses de verão, como a atmosfera apresenta maior demanda evaporativa, a água

da chuva não é suficiente para suprir as necessidades hídricas do milho caso esteja na fase de maior necessidade (MORENO, 1961, NIED et al., 2005).

Adicionalmente, há que se considerar que o fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS), quando em sua fase fria intensifica as estiagens no Estado, resultando em grandes perdas de produção. O ENOS é um fenômeno de grande escala que ocorre no Oceano Pacífico e que se caracteriza pelo aquecimento ou resfriamento anormal das águas do Pacífico Equatorial (FONTANA; BERLATO, 1996). O El Niño produz anomalias positivas de precipitação pluvial enquanto o La Niña resulta em anomalias negativas, especialmente na primavera e início de verão no ano de início do fenômeno (FONTANA; BERLATO, 1996; BERLATO et al., 2005).

Em 1987/1988, por exemplo, deixaram de ser colhidas 3,6 milhões de toneladas de grãos ao passo que na safra 1990/1991 houve uma redução ainda maior, de 5,5 milhões de toneladas. Mais adiante, foram registradas no Estado grandes perdas de produção, em torno de 88% no período compreendido entre 1995/96 (1,57 milhões de toneladas), 1996/97 (0,91 milhões de toneladas), 1998/99 (1,02 milhões de toneladas), 1999/00 (1,07 milhões de toneladas) por causa de deficiência hídrica (MATZENAUER et al., 2005). Contudo, foi na safra 2004/2005 que foram verificadas as maiores perdas de produtividade de grãos de milho, sendo colhidos, em média, 1537,0 kg ha⁻¹, quando a média do Estado no período era de 3340,0 kg ha⁻¹ (FEPAGRO, 2005).

Na safra atual, 2017/2018, a produção de milho no RS enfrenta um dos piores cenários, em decorrência de uma grande redução de área plantada, motivada pelo baixo valor pago ao produtor associado ao elevado custo para produzir e aos riscos decorrentes de eventos climáticos. Foram semeados em torno de 730 mil hectares, uma redução de 11% de área e de 23% de produção, sendo produzidos apenas 4,5 milhões de toneladas, que não foram suficientes para suprir as demandas, assim como, tampouco, os 6,0 milhões de toneladas da safra anterior (EMATER, 2018). Ao contrário do que ocorreu nos últimos cinco anos no RS, quando as condições climáticas favoreceram o bom desenvolvimento das plantas em todo o Estado, neste ano, principalmente as regiões Sul e Leste foram prejudicadas por estiagem. Nesta região foram estimadas perdas em torno de 15%, sendo que em todo o Estado, a queda na produção foi de 1 a 2%, índice baixo porque a região Norte compensou a queda na região Sul (EMATER, 2018).

A intensificação de eventos como chuvas excessivas e ventos fortes também têm causado prejuízos e dificultado o manejo da cultura, pois umidade excessiva do solo impossibilita a entrada de máquinas na lavoura no momento certo. Por ocasião da semeadura seguindo o

zoneamento, chuvas excessivas causam alguns problemas de erosão do solo e lixiviação de fertilizantes, necessitando complementação com nitrogênio, o que resulta em aumento nos custos de produção (EMATER, 2017). Para evitar reduções ainda maiores na produção de milho, são necessárias, além de políticas de valorização da comercialização do milho no mercado, o desenvolvimento e a adequada divulgação de estratégias de manejo, as quais necessitam de uma parceria entre os produtores e a assistência técnica, escalonamento na semeadura, e, também, mas não menos importante, cultivares mais adaptadas às condições dos produtores, evitando aumentos no custo de produção e redução na área cultivada com milho no estado do Rio Grande do Sul.

2.6. CULTIVARES DE MILHO

As cultivares de milho utilizadas pelos agricultores brasileiros podem ser classificadas em dois grupos: cultivares locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs), todas do tipo Variedades de Polinização Aberta (VPA) e cultivares melhoradas, que são desenvolvidas por meio do Melhoramento Genético, que incluem além de VPA, os híbridos entre linhagens endogâmicas (MORRIS et al., 2003), além de outros tipos menos comuns, como Topcrosses e híbridos intervarietais. Os híbridos entre linhagens podem ser simples, triplos ou duplos, dependendo do número de linhagens genitoras utilizadas na sua síntese (PATERNIANI et al., 2000). Ainda nos híbridos há as versões convencionais e transgênicas, sendo que nestas são inseridas características como resistência a insetos e/ou tolerância a herbicidas. Os híbridos transgênicos responderam por cerca de 67,93% das cultivares de milho disponibilizados para os agricultores na safra 2016/2017 (PEREIRA FILHO & BORGHI, 2016).

2.6.1 Crioulas

As VPA representam um conjunto de plantas com características comuns, material dotado de alto nível de variabilidade genética, o que lhe confere maior estabilidade de produção em relação aos híbridos em condições adversas. Porém, normalmente, são consideradas possuir menor potencial produtivo (ARGENTA et al., 2003).

As cultivares Locais, Tradicionais ou Crioulas formam o grande grupo das CLTCs, cuja classificação é apresentada a seguir. Uma cultivar é considerada local quando está sob um manejo contínuo pelos agricultores em ciclos dinâmicos de seleção e cultivo em um

mesmo ambiente por pelo menos cinco ciclos de cultivo ao passo que uma cultivar tradicional é aquela que está sendo cultivada em um mesmo ecossistema por pelo menos três gerações familiares, período em que são incorporados valores históricos e o cultivo passa a fazer parte das tradições locais. Nos países de língua espanhola, cultivares tradicionais são denominadas de crioulas, termo que em outros locais é usado para as locais (MACHADO et al., 2008). Entre outras denominações adotadas destaca-se: semente crioula, semente comum, semente natural, semente caseira, semente verdadeira, semente doméstica, semente nossa, variedade tradicional, variedade rústica, variedade nativa (MEIRELLES; RUPP, 2006).

Uma cultivar crioula também pode ser definida como uma população dinâmica de uma cultura que tem origem histórica, identidade distinta e que não sofreu processo formal de Melhoramento, é geneticamente diversificada, adaptada localmente e está associada a sistemas tradicionais de agricultura (MERCER et al., 2012). O resultado desse processo se reflete na grande quantidade de variedades crioulas existentes e que, geralmente são consideradas artefato cultural dessas comunidades, podendo por isso, serem denominadas de etnovarietades (PERONI & MARTINS, 2000).

As cultivares de milho que tiveram seu Melhoramento Genético restrito à intervenção humana manual, sem interferência de meios tecnológicos provenientes dos conhecimentos acadêmicos, são consideradas crioulas, que possuem características específicas, com alta variabilidade genética (CAMPOS, 2008). As cultivares locais de milho, geralmente conservadas pelas comunidades rurais e tradicionais, se destacam por possuir estabilidade de rendimento, mesmo em ambientes com baixo manejo, pequeno controle de ervas daninhas e baixa fertilidade do solo, e são fontes potenciais de genes na busca por resistência, tolerância e ou eficiência em relação aos atuais e futuros estresses bióticos e abióticos (MACHADO et al., 2006; MERCER et al., 2012).

2.6.1.1 Risco de erosão genética das sementes crioulas

Os métodos para detectar a presença de material transgênico em lotes de sementes não transgênicas atualmente vigentes e o alto custo das análises moleculares, tem dificultado a verificação da contaminação das sementes tradicionais por transgênicas. Devido a isso há o risco de no futuro não ser mais possível os agricultores praticarem agricultura de forma tradicional e independente. Para garantir a autonomia dos agricultores tradicionais, que utilizam suas próprias sementes em seus cultivos, normas de coexistência entre cultivos transgênicos e tradicionais devem estabelecer restrições ou normas específicas para as propriedades que e as responsabilidades de cada segmento da cadeia produtiva (FERMENT,).

Dentre as normas estabelecidas para evitar a contaminação das cultivares dos agricultores, uma delas é a distância mínima entre os cultivos que está normatizada na Resolução Normativa nº 4, de 16 de agosto de 2007. Esta estabelece que a distância entre uma lavoura comercial de milho geneticamente modificado e outra de milho não geneticamente modificado, localizada em área vizinha, deve ser igual ou superior a 100 (cem) metros ou, alternativamente, 20 (vinte) metros, desde que acrescida de bordadura com, no mínimo, 10 (dez) fileiras de plantas de milho convencional de porte e ciclo vegetativo similar ao milho geneticamente modificado (). No entanto muitos estudos indicam uma distância mínima de 200 metros de separação dos plantios para que se tenha um índice de contaminação inferior a 1,5% (KLEIN et al., 2001; SIMPSON, in EASTHAN e SWEET, 2002; JONES, BROOK, 1950; STEVENS, W.E. et al., 2004; LUNA, S.V. et al., 2001; MA, B.L. et al., 2004). Apesar de já terem sido detectados casos de polinização a mais de 800 metros de distância e uma grande parte dos estudos realizados afirma que não se pode descartar a possibilidade de contaminação em distâncias ainda maiores (TREU, R., EMBERLIN, J., 2000).

Outra medida que pode ser adotada está relacionada ao período de semeadura, para evitar que as plantas floresçam no mesmo período. A semeadura pode ser realizada em datas diferentes para cultivares com mesma duração de ciclo ou serem semeadas na mesma data cultivares com diferente duração de ciclo. No entanto, pela Normativa nº 4, não há obrigatoriedade de observar o isolamento temporal, o que aumenta muito a probabilidade de contaminação.

Porém a contaminação de sementes não ocorre somente por vias biológicas, por pólen e dispersão de sementes, mas também por vias físicas (mistura de sementes em máquinas, caminhões, vagões e troca de sementes entre agricultores) e por meio do mercado (dificuldades e falhas de identificação e segregação de cargas). Portanto as normas de coexistência devem visar a preservação das sementes crioulas livres de transgênicos para garantir o direito dos agricultores tradicionais e também para permitir que os consumidores tenham o direito de escolher alimentos livres de transformação genética.

2.6.1.2 Formas de conservação de germoplasma crioulo

A conservação do germoplasma crioulo pode ser feita de duas formas: *ex situ* ou *in situ*, ou de forma integrada. A conservação *ex situ* consiste em realizar a conservação fora do habitat natural, enquanto que a conservação *in situ* é feita no próprio ambiente ou para espécies domesticadas, no local onde desenvolveram as propriedades que as diferenciam

(NODARI; GUERRA, 2015). A modalidade *ex situ* é constituída, em geral, por bancos de sementes, como, por exemplo, àquele do Centro de Recursos Genéticos Wellhausen-Anderson no Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) no México, em que mais de 27 mil acessos de milho, e também de teosinto são conservadas. No banco há amostras coletadas em 64 países: 19 na América Latina, 19 no Caribe, 11 na África, 10 na Ásia, três na Europa e duas na Oceania, representando quase 90% da diversidade do milho das Américas (ORTIZ et al., 2008).

A conservação *on farm* é aquela efetuada nas propriedades familiares. Esse processo permite que a cultivar continue seu processo evolutivo passando por adaptações específicas, resistindo às mudanças ambientais e econômicas (NODARI; GUERRA, 2015). Contudo, essa modalidade também apresenta desvantagens, dentre as quais se podem citar: dificuldade de identificação do material genético conservado e a grande probabilidade de ocorrência de erosão genética, que pode ocorrer tanto pelo êxodo rural, como por eventos climáticos extremos, ou, ainda, pela substituição das cultivares locais por comerciais, quanto por mudanças socioeconômicas e culturais (VOGT & BALBINOT JR., 2011).

2.6.1.3 Conservação de sementes crioulas em Ibarama – RS

Com o intuito de realizar o resgate e conservação das sementes crioulas no município de Ibarama, Técnicos da Emater/RS-Ascar com apoio das entidades municipais da Secretaria Municipal da Agricultura e do Sindicato dos Trabalhadores Rurais, realizaram no ano de 1998 um levantamento e registro dos agricultores que realizavam o plantio de sementes de cultivares crioulas no município (KAUFMANN et al., 2016). Inicialmente buscou-se fazer com que estes agricultores atuassem como multiplicadores e difusores das sementes crioulas junto aos seus vizinhos, buscando também aumentar a área plantada com as crioulas e sensibilizar esses agricultores para o sistema agroecológico de produção. Os agricultores que fazem a conservação das sementes crioulas em Ibarama formaram um grupo de agricultores, que a partir de 2008 foram oficializados como os Guardiões das Sementes Crioulas de Ibarama (ASCI) (KAUFMANN et al., 2016).

Ao longo dos anos a consolidação e valorização dos Guardiões de Ibarama ganhou conhecimento em todo o Rio Grande do Sul e no Brasil, através da participação em eventos como: III Seminário Internacional e Estadual sobre Agroecologia que aconteceu em Porto Alegre – RS em 2002; foi premiado no Concurso Nacional de Sistematização de Experiências sobre Agroecologia e Agriculturas Alternativas patrocinado pelo Ministério do

desenvolvimento Agrário (MDA) e conquistou o 1º lugar no Concurso Ambiental *Von Martius* edição 2006 na Categoria Natureza (BARCHET, 2007; KAUFMANN et al., 2016). A valorização e reconhecimento da experiência de Ibarama, incentiva os Guardiões a continuarem a fazer o resgate e conservação das sementes crioulas, assim como incentiva e sensibiliza outros agricultores do município e da região sobre as vantagens das sementes crioulas (KAUFMANN et al., 2016).

A expansão da experiência de Ibarama se consolida a cada ano através do Dia da Troca das Sementes Crioulas de Ibarama, que acontece desde o ano de 2002. Em 2006, passou a ser realizada no município a Festa Estadual do Milho Crioulo (FEMICI), a qual faz parte do calendário de eventos do estado do Rio Grande do Sul. A partir de 2012 junto com o Dia da Troca, passou a ser realizado o Seminário da Agrobiodiversidade Crioula, e a Feira de Economia Popular Solidária do Território Centro Serra do Rio Grande do Sul (KAUFMANN et al., 2016). Estes eventos são muito importantes para a comunidade, tanto por ser um espaço que dispõem para comercializar suas sementes e seus produtos como também um momento para valorização da sua atividade e formalização de parcerias.

Ao longo dos anos a parceria dos Guardiões com a assistência técnica da Emater/RS-Ascar, e também do Centro de Apoio ao Pequeno Agricultor (CAPA), e com outras entidades como a universidade federal de Santa Maria (UFSM) e a Embrapa, foi fundamental para consolidar e fortalecer o resgate, conservação e uso das sementes crioulas de Ibarama. Com a UFSM o vínculo com os Guardiões de Ibarama ocorre principalmente através do Grupo de Pesquisa Agroecologia, Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Professor José Antônio Costabeber, localizado na UFSM, que colaboram através da promoção dos eventos, e elaboração de projetos que articulam pesquisa, ensino e extensão desde 2010 (REINIGER et al., 2011).

As cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (Figura 1a) e ‘Bico de ouro’ (Figura 1b) são representativas do elenco de cultivares conservadas em Ibarama. Essas cultivares possuem características que as diferenciam e qualificam. Foi realizada avaliação dos descritores morfoagronômicos das cultivares ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ utilizando-se a escala de notas do Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC. A ‘Cinquentinha’ foi classificada como de estatura média (1,48 a 2,30 m), forma da espiga cônica, grão do tipo dentado, possuindo de 11 a 13 fileiras por espiga e endosperma na cor branca (FRUET, 2014). A cultivar ‘Bico de ouro’ foi classificada como de estatura alta (2,3 a 3,13 m), forma da espiga cilíndrica/cônica, tipo de grão dentado e endosperma na cor amarela (COCCO, 2014). A cultivar ‘Cinquentinha’ possui ciclo precoce e a ‘Bico de ouro’ ciclo tardio.

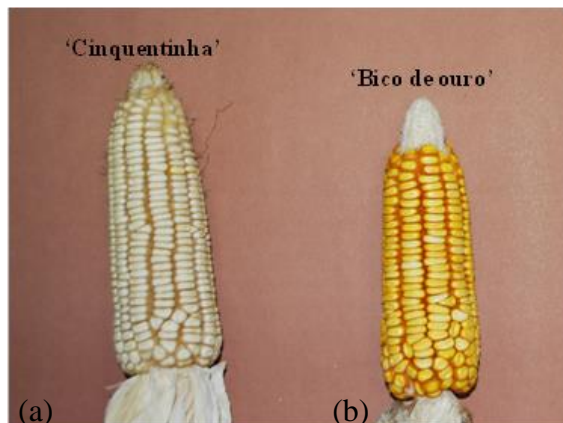


Figura 1– Imagem ilustrativa das espigas das cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (a) e ‘Bico de ouro’ (b), Santa Maria, RS.

2.6.1.4 Medidas adotadas em Ibarama para garantir a conservação das cultivares crioulas

Uma das preocupações acerca da conservação das sementes crioulas em Ibarama é a sucessão familiar nas propriedades, pois os Guardiões em sua maioria são idosos. A estratégia adotada foi a criação do Projeto dos Guardiões Mirins. Este projeto foi criado em parceria com as escolas municipais, a Secretaria de Educação e a Emater/RS-Ascar de Ibarama, as quais realizam palestras e seminários com o intuito de inserir novos estudantes, e também seus pais com a conservação das sementes crioulas.

O risco de contaminação das sementes crioulas de Ibarama pelas sementes transgênicas existe e é preocupante, pois causaria a perda de grande biodiversidade. Uma das possibilidades levantadas é a criação de zonas de conservação, onde o cultivo dos transgênicos é proibido, assim como ocorre no México. Porém esta ação não é fácil, pois extrapola os limites das comunidades e envolvem questões burocráticas e políticas.

2.6.2 Híbridos

As cultivares híbridas são aquelas desenvolvidas no âmbito de um programa formal de Melhoramento Genético, e que são comercializadas sob denominação registrada e/ou sob proteção intelectual por um sistema patentário, um modelo *sui generis* ou por uma combinação de ambos (VIANA, 2011). Apresentam maior potencial produtivo e maior

uniformidade morfológica e fenológica, as quais facilitam o manejo da cultura (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000). Os híbridos de milho resultam do cruzamento entre indivíduos distintos geneticamente e homocigotos, visando o aproveitamento da heterose. O que confere alta uniformidade genética, morfológica e fenológica, porém possui pouca variabilidade genética, necessitando de condições edafoclimáticas favoráveis e disponibilidade adequada de nutrientes para expressar seu alto potencial produtivo (ARGENTA et al., 2003). Dependendo do número de genitores utilizados, será obtido diferentes tipos de híbridos, mas de modo geral, todos são altamente heterocigotos e homogêneos. Indiferentemente do tipo de híbrido formado, estes só tem alto vigor e produtividade na primeira geração (F_1), sendo necessária a aquisição de sementes todos os anos, caso o agricultor queira manter o mesmo nível de produtividade. Se os grãos colhidos forem semeados, o que corresponde a segunda geração (F_2), dependendo do tipo do híbrido, haverá redução entre 15% a 40% na produtividade, devido à perda de vigor e a grande variação entre plantas (PESKE et al., 2012; FRITSCHENETO; MÔRO, 2015). Atualmente são as cultivares híbridas que dominam o mercado de sementes de milho, após sua adoção de forma intensiva em meados do século passado. No Brasil, na safra 2016/2017, havia apenas cerca de 5% de cultivares do tipo polinização aberta disponíveis no mercado (PEREIRA FILHO & BORGHI, 2016).

2.6.2.1 Híbrido Simples

Os Híbridos Simples (HS) são resultado do cruzamento entre duas linhagens puras, possui a característica de possuir alta uniformidade de plantas e espigas do que os demais híbridos (FRITSCHENETO; MÔRO, 2015). Essa característica de uniformidade genética é favorável quando os HS são cultivados em ambientes com alto investimento econômico, com elevadas adições de insumos, como fertilizantes e água, e realização de manejos de controle de plantas daninhas e insetos. Porém, em um ambiente onde os investimentos não são tão elevados, em que as plantas estão suscetíveis a estresses bióticos e abióticos, a uniformidade genética pode ser desfavorável.

2.6.2.2 Híbrido Triplo

O Híbrido Triplo (HT) é obtido a partir do cruzamento entre uma linha pura e um HS, sendo indicado para cultivo pelos produtores que dispõe de condição financeiras para produzir com alto ou médio investimento (FRITSCHENETO; MÔRO, 2015). Os HT também

possuem a característica de ter alta uniformidade, o potencial produtivo, assim como o custo da semente, é de nível intermediário entre os HS e os Híbridos Duplos.

2.6.2.3 Híbrido Duplo

O Híbrido Duplo (HD) é obtido a partir do cruzamento entre dois HS, sendo indicado seu cultivo pelos produtores que possuem condições econômicas para médio investimento (FRITSCHÉ-NETO; MÔRO, 2015). Devido a característica de aliar aumento de produtividade com custos de produção baixos, teve rápida aceitação pelos produtores. Outra vantagem do HD é que possuem maior variabilidade genética que os HS e HT, o que proporciona maior estabilidade de produção em ambientes com estresses bióticos e abióticos.

2.6.2.3 Variedades ou Cultivares de Polinização Aberta

O termo variedade é utilizado para alguns indivíduos da espécie que são diferentes de outros da mesma espécie, em relação a alguma característica botânica, como a cor da flor, por exemplo. As diferenças ocorrem, geralmente, devido à variações naturais que ocorrem na espécie, no ambiente onde ela ocorre. O termo cultivar deriva da tradução do inglês das palavras “*cultivated variety*”, “variedade cultivada”. Ou seja, são as variedades que são cultivadas pelo homem devido algum interesse. Como por exemplo, o milho para produção e consumo dos grãos. Será portanto, este termo utilizado neste trabalho. Pois todas as variedades de milho estudadas, são utilizadas por produtores

As cultivares de polinização aberta são obtidas através da livre polinização entre plantas de milho. Por isso, são altamente heterozigotas e heterogêneas, com característica de possuir maior estabilidade produtiva e variabilidade genética (FRITSCHÉ-NETO; MÔRO, 2015). Devido à baixa heterose, possuem menor uniformidade e produtividade. Uma vantagem de utilizar essas cultivares, é que se adaptam aos sistemas de cultivo que possuem menor investimento em insumos, reduzindo os custos de produção. Outra vantagem, é permitir que os produtores produzam suas próprias sementes para um novo cultivo.

Visando disponibilizar cultivares de polinização aberta com maior potencial produtivo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Clima Temperado desenvolveu a cultivar ‘BRS Planalto’ (Figura 2a). Essa cultivar foi classificada como possuidora de estatura média de 1,75 m, grão do tipo semiduro, cor do endosperma amarela alaranjada, resistência moderada ao acamamento, ciclo precoce e finalidade principal a produção de grãos

(EMYGDIO et al., 2006). A cultivar híbrida ‘AS 1573PRO’ (Figura 2b) foi desenvolvida pela empresa AGROESTE®, sendo um dos híbridos geneticamente modificados que estavam sendo disponibilizados na safra 2013/2014 no sistema troca-troca do Estado como milho semente. Segundo informações da empresa detentora, ‘AS 1573PRO’ possui porte alto, grão do tipo semidentado, endosperma na cor amarela, ciclo precoce e finalidade da produção grãos e silagem (AGROESTE, 2015).

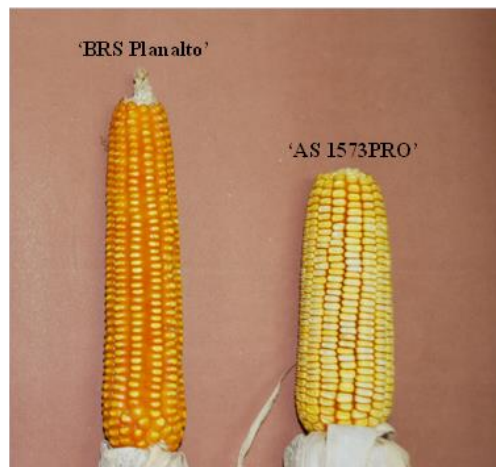


Figura 2 – Imagem ilustrativa das espigas das cultivares melhoradas de milho ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, Santa Maria, RS.

2.6.3 Cultivar convencional e transgênica

As cultivares convencionais de milho são as sementes tradicionais de milho, que não passaram por processo de modificação genética. A introdução de características desejáveis é realizada somente por meio de cruzamentos (FRITSCHÉ-NETO; MÔRO, 2015). Cultivar transgênica é aquela em que características de interesse são introduzidas através da Engenharia Genética e da Transformação. Através destas técnicas, são incorporados genes (uma sequência de DNA) de diferentes espécies vegetais, animais ou microrganismos no genoma vegetal.

Os eventos transgênicos inseridos em híbridos de milho são para resistência a inseto e/ou tolerância a herbicida. Para resistência a insetos foram introduzidos genes específicos da bactéria de solo, *Bacillus thuringiensis* (Bt), que promovem na planta a produção de uma proteína tóxica específica para determinados grupos de insetos (insetos da ordem lepidóptera, como a lagarta-do-cartucho-do-milho, a broca-do-colmo, a lagarta-da-espiga e a lagarta-elasma) (CRUZ et al., 2011). Os híbridos que possuem a tecnologia Bt, possuem junto com

seu nome, uma sigla que identifica o evento, e que muda de acordo com a empresa que o produz. Como por exemplo: a marca comercial YieldGard®, representada pela sigla YG,Y; marca comercial YieldGard VTPRO®, representada pela sigla PRO; marca comercial Viptera®, representada pela sigla VIP, Viptera.

Para tolerância a herbicidas, como é o caso do Milho de marca comercial Agrisure TG®, tolerante ao glufosinato de amônia, representado pela sigla TG. Também há o Milho RR, tolerante ao glyphosate. Também estão disponíveis híbridos com eventos combinados, para resistência à insetos e tolerância à herbicidas. Como Optimum™ IntraSeCT™ (YieldGard® + Herculex®), sigla YH. Também o Agrisure TL® + Agrisure TG® + Viptera®, sigla TLTG Viptera; e o YieldGard® + Roundup Ready® 2, sigla YR, YGRR2.

2.7. ESTRESSE HÍDRICO NO MILHO

A água constitui um dos mais importantes elementos da constituição da vida, uma vez que todas as funções vitais e reações metabólicas são influenciadas pela sua presença, sendo determinante na seleção do tipo de vegetação que constitui uma região (FANCELLI; DOURADO-NETTO, 2004; CARLESSO, 1995). Dependendo da fase de desenvolvimento e da intensidade do estresse, a falta de água causa um estresse nas plantas, promovendo alterações.

No milho, em particular, as maiores exigências em água se concentram nas fases de emergência, florescimento e formação do grão, mas as demais fases são afetadas também. Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos promovidos na área foliar e na produção de biomassa (BERGAMASCHI et al., 2006). Igualmente, ocorre atraso na floração, o que resulta em um aumento no intervalo entre o pendoamento-floração, polinização incompleta ou nula e desenvolvimento de grãos reduzido ou nulo. No entanto, o período que compreende entre 15 dias antes e após o aparecimento da inflorescência masculina (pendão) é mais exigente em disponibilidade de água, e um déficit pode comprometer toda a produção. Dados de literatura estimam uma queda de produção ao redor de 50%, sendo que, no caso de ocorrer após a polinização, os danos são menores, de 25 a 30% (FANCELLI; DOURADO-NETTO, 2000).

Além das perdas de produção, que podem ocorrer devido às secas ou estiagens, outra preocupação na cultura do milho diz respeito ao estreitamento da base genética, em decorrência do cultivo de poucas cultivares melhoradas, com pouca variabilidade genética. A preocupação acerca da possibilidade de redução da variabilidade genética se agrava com as mudanças climáticas que podem ocorrer, pois fenômenos associados à mudança do clima

como aumento da temperatura, mudanças nos padrões de precipitação, aumento da incidência de eventos climáticos extremos, afetam diretamente a perda da biodiversidade (Le Clerc et al., 2005).

2.8 RESPOSTAS DAS PLANTAS DE MILHO AO ESTRESSE HÍDRICO

Plantas submetidas a estresse hídrico podem responder desenvolvendo mecanismos de adaptação que podem ser morfológicos e bioquímicos, fisiológicos, fenológicos e anatômicos (LARCHER, 2004). As alterações fisiológicas são alteração do potencial de água na folha, condutância estomática e conteúdo de clorofila; morfológicos são intervalo entre florescimentos feminino e masculino, senescência retardada de colmos e folhas (*stay green*), altura de planta, área foliar, prolificidade, número de ramificações de pendão e matéria seca total (BERNINI et al., 2016). O *stay-green* confere as plantas a capacidade de manter a área foliar verde durante a maturação dos grãos, através da retenção das folhas fotossinteticamente ativas; sob condições de seca mantém os caules e as folhas superiores verdes (TOLLENAAR; LEE, 2006).

As respostas mais proeminentes das plantas de milho ao déficit hídrico são o decréscimo da produção da área foliar, inibição de expansão do sistema radicular, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas. O decréscimo da produção da área foliar é considerada uma resposta adaptativa precoce das plantas ao déficit hídrico (LAGO et al., 2011). Com o déficit hídrico ocorre redução do conteúdo de água nas células, que se contraem, diminuindo o turgor nas células. Com a redução do turgor, as atividades dependentes dele vão sendo reduzidas, como a expansão foliar e o alongamento das raízes. Alterações na distribuição e atividade do sistema radicular ocorrem com o déficit hídrico, devido a habilidade das plantas em expandir ou aprofundar as raízes para explorar maior quantidade de solo (SANTOS; CARLESSO, 1999).

A capacidade de controlar a abertura estomática permite às plantas responder rapidamente ao ambiente em transformação para evitar perda excessiva de água. Durante períodos de deficiência hídrica, a manutenção do crescimento da planta depende de sua capacidade de conservar a turgescência das células, através do processo conhecido como ajuste osmótico (MARTINS et al., 2008). Quando o déficit hídrico ocorre de maneira mais rápida ou a planta já possui sua máxima área foliar, o fechamento estomático é considerado o mecanismo mais importante (TAIZ; ZIEGER, 2013).

Em condições de déficit hídrico severo ocorre a aceleração da senescência e abscisão foliar, mecanismos que a planta utiliza para ajustar sua área foliar (SANTOS; CARLESSO, 1999). Pois reduzindo a área foliar, reduz a área transpirante e, conseqüentemente, economiza água do solo.

2.9 'FATS' COMO METODOLOGIA PARA ESTUDAR A RESPOSTA DAS PLANTAS AO DÉFICIT HÍDRICO

A produção das culturas agrícolas é influenciada pela disponibilidade de água no solo. Quando há pouca ou esta é reduzida, afeta de forma negativa o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, diminui sua produção (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; SANTOS; CARLESSO, 1998). A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando cerca de 80 a 95% nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração dos sistema radicular (MARTINS et al., 2008).

A quantificação da lâmina de água do solo pode ser realizada através de diversas formas a partir dos quais é possível determinar o momento em que ocorre déficit hídrico no solo e nas plantas. Entre estes existe o conceito de quantidade total de água armazenada (QTA), definida como a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) e a espessura da camada considerada (p). A água disponível no solo (AD) é definida como a quantidade de água retida no solo entre a capacidade de campo (θ_{CC}) e o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) (MARTINS et al., 2008). Apesar de ser uma metodologia mundialmente utilizada, este parâmetro é considerado falho por muitos pesquisadores (van LIER, 2017) para determinar o déficit das plantas porque considera valores de CC de -0,03 para solos argilosos e -0,01 para solos arenosos, e -1,5 Mpa para PMP. O valor de -1,5 Mpa não é considerado realístico porque algumas plantas de algumas espécies podem apresentar redução no crescimento antes que este valor seja atingido. Enquanto que outras culturas podem possuir a capacidade de retirar água do solo em potencias mais baixos que -1,5 Mpa. Além de que os valores de CC e PMP determinados em laboratório podem ser diferentes do solo no campo. Essa metodologia também não considera que as raízes crescem em diferentes direções, explorando um volume diferente de solo (van LIER, 2017; CARLESSO, 1995; MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2011).

Outro conceito que pode ser utilizado é o de capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) ou água extraível (Ray, 1997; CARLESSO, 1995). Este conceito é considerado mais adequado que o AD por considerar a água disponível às plantas pela diferença do conteúdo volumétrico de água entre os limites superior (θ_{LS}) e inferior (θ_{LI}) de disponibilidade de água, considerando diferentes camadas de exploração do solo pelo sistema radicular. Ou seja, a planta foi incluída na determinação da água disponível. Por essa metodologia, adota-se como o limite superior de água disponível no solo o valor no conteúdo de água no solo, após a saturação por irrigação ou precipitação, aquele observado 24 horas após a drenagem do perfil (para solos de textura arenosa), e de 2 a 3 dias (para solos de textura argilosa). O limite inferior é considerado quando as plantas estão completamente senescidas em condições de campo (CARLESSO; ZIMERMANN, 2000). As limitações consideradas para este método são que para determinação do limite inferior é necessário que a cultura apresente um desenvolvimento radicular sem nenhum estresse. A água extraível não é considerada somente a absorvida pelas raízes, pois há evaporação de água do solo, causando diminuição da água disponível, principalmente das camadas superiores.

Outro conceito é o da fração de água disponível (FAD), que considera a razão entre a CAD atual do solo e a CAD máxima, ou seja, indica a lâmina de água no solo a partir do momento em que a planta começa a manifestar algum sintoma de stress. É um dos métodos mais utilizados, embora tenha a limitação de que nem toda a água do solo é extraível pelas plantas (CARLESSO, 1995). A FAD também pode ser expressa como água facilmente disponível ou extraível (RAW), descrita por Allen et al. (1998), que representa o limite inferior de disponibilidade ou depleção máxima (p) de água que não causa stress, ou seja, o RAW é uma fração do de água disponível no perfil do solo (TAW). O valor da depleção máxima (p) deve ser determinada para cada cultura e situações de cultivo, para que se obtenha a máxima produtividade da água e da cultura.

Outro conceito que tem sido utilizado para avaliar a resposta das plantas ao déficit hídrico, é a fração de água transpirável no solo (FATS). Este conceito foi introduzido por Sinclair; Ludlow (1986) assumindo que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na CC, quando a transpiração é máxima, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10% da máxima. Este conceito pode ser considerado como o que mais se aproxima da realidade como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração, sem a ocorrência de stress. Para a determinação da hidratação das plantas, associado à redução da umidade do solo, são caracterizados três estágios: estágio I, quando a água está disponível

livremente no solo e a planta não tem deficiência hídrica, com condutância estomática e transpiração máxima; estágio II, quando a água disponível no solo diminui e a planta diminui sua condutância estomática e transpiração para manter seu balanço hídrico e turgescência celular; estágio III, quando os estômatos fecham e a perda de água ocorre somente devido a condutância epidérmica (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LAGO et al., 2011). Na determinação e uso da FATS são considerados os estágios I e II. A variação da transpiração com a FATS segue uma resposta que tem duas fases: na primeira fase, a transpiração é máxima em uma faixa de valores de FATS que varia de um solo na capacidade de campo até começar a ocorrer redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático, que é chamada de FATS crítica (FATSc). Na segunda fase, a partir da FATSc ocorre redução na transpiração proporcional à redução da FATS até zero. A FATSc é um índice de interesse por representar a capacidade da planta em responder ao déficit hídrico no solo para manter a turgescência foliar.

A FATSc que indica o início do fechamento estomático, momento em que também ocorre início da redução da transpiração das plantas, foi determinada para várias culturas anuais, florícolas, frutíferas e florestais. Para as culturas anuais soja, feijão mungo e guandu, foram encontrados valores de FATSc de 0,40, para o feijão caupi de 0,30 (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). Para a cultura da batata (clone SMINIA793101-3) o valor de FATSc que começa a afetar a transpiração foi 0,44, sendo mais tolerante a deficiência hídrica que o clone Macaca, com FATSc de 0,38 (LAGO et al., 2011). Para a mandioca, para o clone Fécula Branca, a FATSc foi de 0,51, sendo mais tolerante que o clone FEPAGRO RS 13, com FATSc de 0,49. Para a cultura da mandioca, em trabalho considerando dois períodos de secamento do solo, os valores de FATSc variaram de 0,28 no primeiro secamento a 0,13 no segundo secamento variação influenciada pela redução da área foliar (PINHEIRO et al., 2014). Para milho foram encontrados valores de FATSc de 0,50 (RAY & SINCLAIR, 1997).

Para espécies florestais, a FATS foi determinada para duas espécies de eucalipto na fase de muda, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Para *E. grandis*, a FATSc variou de 0,7 a 0,9, enquanto para *E. saligna* foi de 0,7 (MARTINS et al., 2008). Para espécies florícolas, FATSc de 0,30 foram determinados para o Hibiscus sp. (SINCLAIR et al., 2005), enquanto que, para o crisântemo, a FATSc foi determinada em relação ao conteúdo de água disponível no substrato, sendo de 0,63 para cultivar 'Cherie White', 0,6 para 'Bronze Repin', 0,53 'Yoapple Valley', e 0,51 'Calabria', sendo Cherie White e Bronze Repin mais tolerantes ao déficit hídrico (KELLING et al., 2015). Para a cultura do café, no desenvolvimento inicial

do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) valores variaram de 0,61 aos 30 dias após o plantio e 0,40 aos 90 dias após o plantio (RODRIGUES et al., 2005).

3. ARTIGO 1

Milho: Espécie agrícola chave na segurança e soberania alimentar num futuro com escassez de água

RESUMO

O objetivo nesta revisão foi discutir a importância da cultura do milho na atualidade e o papel crucial que pode desempenhar no futuro para a produção de alimentos em cenários de deficiência hídrica, bem como a importância de conservar suas cultivares crioulas, que detêm uma parcela considerável dessa reserva de variabilidade genética. As plantas de milho, quando expostas à deficiência hídrica, podem desenvolver mecanismos fisiológicos, morfológicos, bioquímicos e anatômicos de adaptação. Com o auxílio do Melhoramento Genético são fixadas nas plantas as características que conferem tolerância via métodos convencionais, como a hibridação seguida de seleção, ou pelo emprego de Transformação Genética. Nesse sentido, foram desenvolvidas, por meio do Melhoramento convencional, as cultivares ‘Tuxpeño Sequia’, no México, enquanto na África, uma das estratégias mais importantes foi o desenvolvimento das cultivares ‘DT’ (*Drought-tolerant*). Já nos Estados Unidos, um dos processos mais importantes foi o desenvolvimento dos híbridos PioneerAquamax® ao passo que, no Brasil, foi o desenvolvimento das cultivares possuidoras do gene Maya Latente. Por meio da Transformação Genética foi desenvolvido o híbrido ‘MON 87460’. Entretanto, deve ser mencionado que, para uma cultivar ser bem aceita pelos produtores além de possuir uma ou mais características de adaptação, precisa ter alta produção de grãos. Tecnologias como uso de marcadores moleculares, transformação genética, e modelagem através da bioinformática, associadas à seleção convencional serão fundamentais para garantir o avanço na tolerância à deficiência hídrica em milho.

Palavras chave: *Zea mays* L., alimentos, cultivares crioulas, mudança climática.

Maize: Key Agricultural Species in Food Security and Sovereignty in a Shorter Future

ABSTRACT

The objective of this review was to discuss the importance of present maize and the crucial role it may play in the future for food production in water deficiency scenarios, as well as the importance of conserving its native cultivars, which hold a considerable part of this reserve of genetic variability. Maize plants, when exposed to water deficiency, may develop physiological, morphological, biochemical and anatomical adaptation mechanisms. With the aid of breeding, the characteristics that confer tolerance are established in plants, such as hybridization followed by selection, or by the use of Genetic Transformation. In this sense, 'Tuxpeño Sequia' cultivars were developed in Mexico, while in Africa, one of the most important strategies was the development of 'DT' (Drought-tolerant) cultivars. In the United States, one of the most important processes was the development of PioneerAquamax® hybrids, while in Brazil, it was the development of cultivars with the Maya Latente gene.

Through the Genetic Transformation, the hybrid 'MON 87460' was developed. However, it should be mentioned that for a cultivar to be well accepted by producers, besides having one or more adaptation characteristics, it must have a high grain yield. Technologies such as the use of molecular markers, genetic transformation, and modeling through bioinformatics, associated with conventional selection will be fundamental to guarantee the advancement of water deficiency tolerance in maize.

Key words: *Zea mays* L., foods, landrace cultivars, climate change.

INTRODUÇÃO

Em cenários com aumento da frequência de eventos extremos, como deficiência e/ou excesso hídrico, conforme previsões do Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC, 2014), a cultura do milho e suas cultivares crioulas são fundamentais para garantir a segurança e a soberania alimentar. A deficiência hídrica é a causa mais severa da redução na produção agrícola em todo o mundo e as mudanças climáticas tendem a agravar o impacto do déficit hídrico (Ribaut et al., 2009). Falta de água é prejudicial em todas as fases do desenvolvimento das plantas de milho, mas os danos são maiores se ocorrerem no período que compreende a floração e o enchimento de grãos. Este período é relativamente curto, comparado a todo o ciclo de desenvolvimento, mas se associar a isso a grande variabilidade na distribuição das chuvas durante a estação quente no Rio Grande do Sul (RS), o milho torna-se uma espécie altamente sensível à falta de água (Bergamaschi & Matzenauer, 2014).

Adicionalmente, há que se considerar que haverá o desafio de aumentar em cerca de 60% a oferta de alimentos de forma vertical nos cenários de estresse, somado ao aumento da população mundial, que ultrapassará os nove bilhões de pessoas até 2050 (Grassini et al., 2015).

No Brasil, as perdas de produção de milho devido à deficiência hídrica são marcantes nas regiões Nordeste e Sul, e, nesta, sobretudo no estado do RS, devido à influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O padrão da precipitação nesta região é afetado pelo sinal do ENOS, sendo que no Sul ocorre o oposto ao Nordeste (Soler et al., 2010). No Sul, ocorrem

anomalias de chuva positivas e até extremamente elevadas durante a estação chuvosa de El Niño, enquanto secas podem ocorrer durante La Niña (Grimm et al., 2000).

Para assegurar a produção de milho em cenários de estresse hídrico há muitas estratégias, dentre as quais destacam-se o desenvolvimento de cultivares tolerantes à falta de água por meio de Melhoramento Genético. A tolerância à falta de água pode ser obtida por meio de hibridação com materiais genéticos dotados de ampla variabilidade genética, e que podem manifestar mecanismos de adaptação, os quais podem ser morfológicos, bioquímicos, fisiológicos e anatômicos (Taiz & Zieger, 2013). Nesse sentido, as cultivares locais, tradicionais ou crioulas são preferenciais, por apresentarem grande reserva de variabilidade genética, em especial de genes que lhes garantem melhor adaptação a estresses bióticos e abióticos, como a deficiência hídrica (Machado et al., 2011). Além da metodologia convencional, que emprega hibridação seguida por seleção, a Transformação Genética e a consequente obtenção de cultivares transgênicas também pode ser utilizada no Melhoramento Genético do milho.

Para garantir a produção de milho destinado a alimentar uma população crescente e em cenários de aumento da falta de água é necessário ampliar as pesquisas em Melhoramento Genético, de maneira a contemplar a tolerância a esse estresse abiótico. Porém, a obtenção de resultados satisfatórios dependerá da conservação da variabilidade genética armazenada nas cultivares crioulas de milho. Assim, considerado o exposto, o objetivo nesta revisão foi discutir a importância da cultura do milho na atualidade e o papel crucial que pode desempenhar no futuro para a produção de alimentos em cenários de deficiência hídrica, bem como a importância de conservar suas cultivares crioulas como fontes de variabilidade genética útil para o Melhoramento Genético.

Histórico da cultura do milho

O milho atualmente cultivado (*Zea mays* ssp. *Mays*) é originário da interação humana, a partir de ancestrais silvestres do teosinto das subespécies *parviglumis* e mexicana (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), realizada cerca de nove mil anos atrás pelos povos da América Central, em especial do México (Prasanna, 2012). O provável local de domesticação é a região do Centro-sul do México, em altitudes médias de, aproximadamente, 1500 m acima do nível do mar. Nos dias atuais, o cultivo é realizado no mundo inteiro, em diversas latitudes (variando de 58°N a 40°S) e altitudes (desde 3500m de altura até o nível do mar), o que demonstra sua ampla capacidade de adaptação (Fancelli & Dourado Netto, 2000).

O milho foi a base alimentar que possibilitou o desenvolvimento de várias civilizações importantes ao longo dos séculos, como os Incas, no Peru e em uma ampla região localizada na Cordilheira dos Andes, os Astecas, no México, e os Maias, na América Central e Sul do México (Conagin, 1966). O milho desempenhou papel tão importante na América quanto o trigo para os povos do “Velho Mundo” (Conagin, 1966). Foram os navegadores que levaram sementes de milho para a Europa, Ásia e África, sendo que, hoje, no continente Africano este cereal é a cultura mais cultivada e com maior produção total de grãos (Krug, 1966; FAOSTAT, 2017; Prasanna, 2012). Na América do Sul, estima-se que o cultivo do milho teve seu início há mais de quatro mil anos pelos índios americanos, que plantavam cultivares diferentes de acordo com a finalidade de uso (Perry et al., 2006).

No Brasil, o milho já era cultivado pelos índios, tanto para alimento como para outros fins, antes dos navegadores portugueses chegarem ao país (Krug, 1966). Cada tribo utilizava cultivares de milho adaptadas às condições locais, cujos grãos tinham cores características, eram moles, e as espigas finas e compridas, as plantas apresentavam porte alto (Conagin, 1966). Após a chegada dos colonizadores, o consumo deste cereal aumentou consideravelmente em decorrência do aumento populacional e da diversidade de usos, não só para alimento humano, como também para a alimentação de animais domésticos, tornando o

milho uma das mais importantes fontes de renda nas propriedades familiares (Zago, 2002). Como consequência disso, a espécie tornou-se parte constituinte da cultura alimentar da população brasileira de norte a sul do país, haja vista estar presente em uma variedade de comidas, tais como a pamonha, mingau, cuscuz, entre outros derivados produzidos a partir da farinha de milho.

Até a metade dos anos 1970, na Região Sul do Brasil (estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) concentrava-se quase toda a produção de milho do país. A partir dos anos 1990, impulsionada pelo surgimento de agroindústria, foi gerada uma demanda maior por milho, o que incentivou o aumento da produção na região Centro-Oeste do país (Correa & Ramos, 2010). Cabe salientar que, até os anos 2000 as regiões Sul e Sudeste e o estado de Goiás respondiam por aproximadamente 70% da oferta de milho, mas a partir de 2001 a dinâmica da produção mudou deslocando-se para o cerrado, acompanhando a expansão da cultura da soja.

Achados arqueológicos sugerem que foram também os indígenas que iniciaram o cultivo de milho no RS. O milho era chamado, por estas populações, de “Avati”, as quais o produziam para alimentar-se dos grãos e da farinha, além de produzir uma bebida fermentada, chamada “cauim” (Conagin, 1966). Os índios, também, cultivavam alguns tipos de milho pipoca e alguns milhos especiais que usavam em suas cerimônias tribais (Brieger et al., 1958). Fato este que comprova que o milho, além da sua importância econômica e ecológica, também apresenta uma forte relação social e cultural com as comunidades que o manejam. Conforme dados atuais, o milho é produzido em todos os municípios do RS, sendo majoritariamente produzido em propriedades familiares, que possuem em média 20 hectares (EMATER, 2012). Atualmente, uma forma marcante do uso do milho na cultura do Sul do Brasil é a tradição do consumo da polenta, prato típico produzido com a farinha de milho, receita introduzida pelos imigrantes italianos.

Importância econômica e social do milho

O cultivo de milho ocorre em praticamente todos os países, ocupando uma área de aproximadamente 160 milhões de hectares (Silva et al., 2017). Em termos nutricionais, o milho apresenta composição rica em carboidratos, principalmente na forma de amido, mas também possui proteínas, lipídeos, vitaminas e minerais (Oliveira et al., 2014). Uma característica importante é que seus grãos podem ser consumidos de forma direta, sem necessidade de processamento para remover a casca como é feito com outros cereais, como o arroz e o trigo. Na África subsaariana, o milho é a espécie agrícola mais importante, tanto por ser a mais cultivada e produzida em termos quantitativos, quanto por ser a que fornece de 40 a 50% das calorias e proteínas consumidas no Malawi, Zimbábue e Zâmbia (Prasanna, 2012; Cairns et al., 2013). Em Zâmbia, o milho é o cereal mais importante, sendo que cerca de 90% do milho produzido é utilizado para consumo humano (Bolaños & Edmeads, 1996). O aumento da produção de milho em Zâmbia é prejudicado pela baixa capacidade de investimentos em insumos, como também falta de técnicos qualificados para difundir melhorias nas práticas de manejo.

Nos sistemas de produção de lavouras comerciais há maior investimento econômico na produção, buscando obter maiores produtividades com emprego de maior nível de manejo, através do controle químico de insetos e doenças, maior aplicação de fertilizantes, uso de irrigação suplementar e sementes de cultivares híbridas (Argenta et al., 2003). As cultivares híbridas são desenvolvidas seguindo metodologias consideradas científicas e apresentam características como alta produção, resposta aos fertilizantes, baixa estatura e sincronia no desenvolvimento (Machado et al., 2008). A partir do cruzamento de linhagens endogâmicas previamente selecionadas é obtida a geração F₁ dotada de alta uniformidade fenológica, morfológica e genética, e exigente em ambiente para expressar todo seu potencial produtivo

(Argenta et al., 2003). Por outro lado, se o agricultor usar os grãos produzidos a partir da geração F_1 , a geração F_2 , como sementes na próxima safra, sofrerá redução na produção, e as plantas apresentarão grande desuniformidade (Sangoi & Silva, 2010). A necessidade de aquisição de novas sementes a cada safra eleva o custo de produção e também torna o agricultor dependente das empresas produtoras de sementes híbridas.

Alternativamente, podem ser utilizadas as sementes de variedades (ou cultivares) de polinização aberta (VPA), as quais são uma ótima alternativa para redução de custos em propriedades ou em locais ao redor do mundo com baixo nível tecnológico, como em propriedades de agricultura familiar no RS, Nordeste Brasileiro ou continente africano. As VPA podem ser desenvolvidas em programas formais de Melhoramento, realizados nas estações experimentais de instituições públicas ou privadas, ou pelos próprios agricultores em suas propriedades rurais. As VPA mantêm ou até aumentam a produtividade nas gerações F_2 e avançadas, o que possibilita ao agricultor, além de cultivar, produzir sua própria semente. As sementes de cultivares que são produzidas e conservadas pelo próprio agricultor recebem diversas denominações, como semente crioula, semente caseira, semente natural, semente doméstica, variedade tradicional, variedade rústica, variedade nativa, entre outras nomenclaturas (Meirelles & Rupp, 2006). Estas cultivares fazem parte do grupo das cultivares Locais, Tradicionais ou Crioulas. Locais são aquelas cultivadas pelos agricultores de forma contínua por cinco ou mais ciclos de seleção e cultivo. Tradicionais são aquelas manejadas por, no mínimo, três gerações familiares, em um mesmo ecossistema, sendo que, nesse período, são incorporados valores históricos e a cultivar passa a fazer parte das tradições locais (Machado et al., 2008). Já as Crioulas são aquelas cultivares Locais ou Tradicionais em países de língua latina, sendo esta a denominação doravante utilizada no presente trabalho.

As cultivares crioulas também possuem a característica de serem cultivadas pelas famílias para diferentes finalidades de uso. Algumas são específicas para produção de farinha,

outras para consumo de milho verde, para usar a palha na produção de artesanato e, também, para alimentar os animais. Essas diferentes finalidades também agregam valor quando esses subprodutos são comercializados. Adicionalmente, as cultivares crioulas apresentam maior variabilidade genética, sendo importante fonte de genes de resistência a estresses bióticos e de tolerância a estresses abióticos, como aqueles que estão previstos ocorrer devido às mudanças climáticas (Sandri & Tofanelli, 2008; IPCC, 2014). Devido à maior variabilidade genética, as crioulas tendem a evoluir ao longo de gerações, sob seleção natural e humana, o que lhes confere também um forte potencial para agricultura orgânica e com baixo uso de insumos (Serpouly-Besson et al., 2014).

Quando sementes das cultivares crioulas são perdidas ou desaparecem, ocorre também perda de biodiversidade, das tradições culturais e históricas das famílias e comunidades (Bianchetto et al., 2017). A partir do surgimento dos híbridos de milho, por volta de 1933 nos Estados Unidos, numerosas cultivares adaptadas a regiões específicas foram substituídas por um número limitado de cultivares híbridas, as quais foram criadas a partir de uma grande base genética (Le Clerc et al., 2005). Porém, os principais híbridos cultivados hoje no mundo são desenvolvidos com um número estreito de linhagens, com diversidade genética quase limitada, em comparação àquela existente armazenada nos bancos de sementes. Através da genotipagem por sequenciamento de 2,815 acessos conservados no *National Plant Germoplasm System* nos Estados Unidos, foi constatado que apenas uma pequena quantidade da diversidade está disponível nas sementes das cultivares comerciais (Romay et al., 2013).

Uma das estratégias utilizadas para minimizar a perda de biodiversidade é a conservação de germoplasma. A conservação das sementes das cultivares crioulas de milho, em particular, pode ser feita pelas modalidades *ex situ*, *in situ* ou de forma conjunta. Conservação *ex situ* é àquela realizada fora do habitat natural, quando as sementes são armazenadas em bancos de sementes ou de germoplasma. No México, estão armazenadas no Centro Internacional e de

Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), mais de 27 mil amostras de sementes de milho. As amostras, representam cerca de 90% da diversidade de milho das Américas (Ortiz et al., 2010). No Brasil, no Banco Ativo de Germoplasma de Milho, localizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, atualmente encontram-se armazenados 3,816 acessos de milho (Andrade et al., 2002).

Já a conservação *in situ* é aquela realizada no próprio ambiente de origem em que a espécie foi domesticada ou no local onde desenvolveu características particulares, que as diferenciam (Boef, 2007). Esta estratégia de conservação pode ser realizada *on farm*, quando a conservação é feita na propriedade familiar. Nessa forma de conservação, as cultivares continuam evoluindo, através de processos aos quais vão sendo submetidas, resistindo às mudanças ambientais e econômicas.

Kaufmann e colaboradores (2018) apontaram a importância da conservação integrada da agrobiodiversidade crioula, sobretudo para o milho. Esta modalidade se caracteriza pela aliança entre a conservação *ex situ*, que permite uma caracterização e armazenamento das cultivares, e a conservação *in situ on farm*, que permite às populações rurais que as manejam a manutenção do processo adaptativo das cultivares aos ambientes e conforme os interesses das comunidades. Este tipo de estratégia de conservação de germoplasma é interessante, também, para a garantia de expressão da diversidade genética das cultivares de milho, que favorece a emergência de genes de tolerância a fatores adversos do clima.

Estresse hídrico no milho

Devido à característica de possuir um período relativamente curto do ciclo com alta sensibilidade à falta de água, a produção de milho possui uma estreita relação com a disponibilidade hídrica (Berlato et al., 2005). Para o milho, as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão (Bergamaschi et al.,

2004). Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. No período que compreende o florescimento, é a fase de maior sensibilidade, podendo comprometer toda a produção (Fancelli & Dourado Netto, 2000). Maior sensibilidade no período reprodutivo ocorre por causa dos processos fisiológicos relacionados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos, somados à elevada transpiração causada pela máxima área foliar atingida nessa fase do ciclo (Bergamaschi et al., 2006). O estresse hídrico nas plantas de milho provoca atraso no aparecimento dos estigmas, resultando em aumento no intervalo entre florescimento masculino e feminino, e, também, em alta porcentagem de zigotos abortados após a fecundação (Bernini et al., 2016). As respostas mais proeminentes das plantas ao déficit hídrico são o decréscimo da produção da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas. Durante períodos de deficiência hídrica, a manutenção do crescimento da planta depende de sua capacidade de conservar a turgescência das células, através do fenômeno conhecido como ajustamento osmótico.

No caso do Brasil, especificamente nas regiões tropicais e subtropicais, existe sazonalidade de chuvas, em que, muitas vezes, predominam períodos com excesso e outros com deficiência hídrica, que resultam em perdas na produção de grãos. No RS, em particular, as estiagens e secas ocorrem devido à influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é caracterizado pelo aquecimento ou resfriamento anormal das águas do oceano pacífico. Quando há resfriamento caracteriza-se a atuação do fenômeno La Niña, que resulta em redução nas chuvas, principalmente na primavera e início do verão, causando deficiência hídrica para as culturas de verão, como o milho (Berlato et al., 2005).

Analisando a série histórica de 1919 a 2003, Berlato et al. (2005) demonstraram que para os anos de El Niño no Sul do Brasil, o milho semeado durante o período recomendado teve maior frequência de alta produção, enquanto que para La Niña houve maior frequência de

baixa produção. Grandes perdas de produção de milho foram registradas no RS na safra 2004/2005, ano de La Niña em que foram verificadas as maiores perdas de produtividade, 3,4 milhões de toneladas para o milho (IBGE, 2010). Na safra 2011/2012, as perdas foram de 46,7% da produção, sendo perdas cerca de 3 milhões de toneladas do grão (EMATER, 2012).

Mecanismos desenvolvidos pelas plantas para tolerar o estresse hídrico

As plantas quando sofrem estresse hídrico podem responder desenvolvendo mecanismos de adaptação morfológicos, bioquímicos, fisiológicos e anatômicos (Taiz & Zieger, 2013). As alterações fisiológicas correspondem às mudanças que ocorrem em nível celular, como o potencial hídrico na folha, condutância estomática e conteúdo de clorofila; morfológicas correspondem ao aumento no intervalo, em dias, entre florescimento feminino e masculino, senescência acelerada de colmos e folhas, redução na estatura de planta, prolificidade, número de ramificações do pendão e matéria seca total (Bernini et al., 2016). As alterações fisiológicas que garantem a produtividade em condições de estresse são: menor decréscimo no potencial hídrico, redução nas taxas de assimilação de CO₂, prolongado fechamento dos estômatos e maior conteúdo de clorofila. A falta de água reduz o turgor das células e, por consequência, seu crescimento, ocasionando aumento na síntese do ácido abscísico (ABA) que induz ao fechamento dos estômatos e diminui a assimilação de CO₂ (Bernini et al., 2016).

Um aspecto importante na seleção de cultivares de milho tolerantes à deficiência hídrica é que o caráter que confere a tolerância, deve ser geneticamente relacionado à produção de grãos, devendo ser altamente herdável, de fácil mensuração, de baixo custo, não destrutivo, estável dentro do período de mensuração e não deve estar associado ao decréscimo na produtividade em condição sem estresse hídrico (Ribault et al., 2009). Nesse sentido, as características mais conhecidas são o número de espiga por planta, que deve aumentar nos

genótipos tolerantes, o intervalo entre florescimento masculino e feminino, que deve diminuir nas cultivares tolerantes, *staygreen* e número de ramificações do pendão (Banziger et al., 2000). Cultivares que apresentarem intervalo entre florescimento masculino e feminino menor que cinco dias em condição de estresse são consideradas tolerantes (Cairns et al., 2013). O *staygreen* é uma característica que permite as plantas manter a área foliar verde e atividade fotossintética por mais tempo sob condições de seca durante o enchimento de grãos, iniciando tardiamente a senescência das folhas ou tornando mais lenta sua ocorrência (Edmeads et al., 2006).

Adicionalmente, a capacidade de controlar a abertura estomática, através da qual a planta limita a perda de água, é considerado um mecanismo importante de tolerância à falta de água, que permite a planta continuar a assimilação de CO₂, realizando fotossíntese (Paiva et al., 2005). Quando o estresse hídrico se agrava e/ou a planta não possui mecanismo para controlar a abertura estomática, o turgor das células se reduz, assim como a atividade da enzima redutase, e, por consequência, tem-se um incremento da síntese do ácido abscísico (ABA), que resulta no fechamento total dos estômatos e cessa a assimilação de CO₂ e fotossíntese (Guimarães et al., 2014).

Cultivares crioulas, por possuírem maior variabilidade genética, apresentam maior plasticidade fenotípica, o que podem permitir que as populações atuais mantenham sua aptidão à medida que as condições mudam. Apenas uma pequena porção da variabilidade genética do milho foi explorada, e as cultivares crioulas, que, com frequência, são expostas à estresse hídrico por seca, são fonte importante de alelos para buscar tolerância (Ortiz et al., 2009), devendo ser conservadas.

Avanços científicos na tolerância do milho à deficiência hídrica

Uma cultivar de milho para ser bem aceita e manter o cultivo em um local, depende do seu potencial produtivo e da capacidade de manter a produção diante das variações ambientais. A variabilidade genética para as características desejáveis pode ser obtida através de novas combinações e intercruzamentos dos genótipos que possuem as características desejáveis (Bernini et al., 2016). A adaptação ao ambiente com estresse ocorre quando alterações genéticas são fixadas em toda a população de plantas através de seleção natural ou em indivíduos que passam por situação de estresse e alteram sua fisiologia ou morfologia. No Melhoramento Genético do milho frente aos cenários de aumento do estresse hídrico, deve ser buscada a estabilidade de produção e ampla adaptação, aumentando a tolerância (Bernini et al., 2016).

No México, na década de 1970, o CIMMYT iniciou um programa de melhoramento contra seca utilizando populações de milho elite das planícies, os “Tuxpeño Sequia”. Após mais de oito ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos e aumento de sincronia na floração, obtiveram ganhos de até 144 kg ha⁻¹ano⁻¹ sob condição de estresse hídrico (Cairns et al., 2013). No final dos anos 1990, o CIMMYT iniciou um programa de Melhoramento do milho para o Sul da África, selecionando cultivares para baixo teor de nitrogênio e seca, cujas cultivares tiveram produtividade 40% superior a híbridos sob condição de estresse hídrico (Banziger et al., 2000; Setimela et al., 2012).

No continente africano, principalmente na região subsaariana, foram desenvolvidas algumas cultivares tolerantes à seca. Na Etiópia, foram propostas duas VPA, ‘ACV3’ e ‘ACV6’, que são relativamente tolerantes à seca (Bolanos & Edmeads, 1996). O híbrido ‘CML442/CML444’ tem sido amplamente utilizado como genitor de semente no desenvolvimento de híbridos no Leste e no Sul da África, onde muitos ganhos têm sido alcançados no desenvolvimento de tolerância à seca (Banziger et al., 2006). Uma das estratégias de adaptação mais importantes deste local tem sido o desenvolvimento de

cultivares tolerantes à seca, denominadas ‘DT’ (*Drought-tolerant*) (Lunduka et al., 2017). Desde os anos 1990, os DT estão sendo tratados como parte da solução para manter a produção de milho, principalmente nas propriedades familiares. Além de ser tolerantes à seca, os DT são mais produtivos, em torno de 40% a mais que as cultivares comerciais utilizadas (Setimela et al., 2012). Em ensaios recentes o híbrido ‘DT CZH0616’ demonstrou produtividade estável em 44 locais, produzindo em torno de 36% a mais em condição de estresse hídrico em comparação à cultivar mais semeada, indicando ganho de seleção para produtividade e para seca (Setimela et al., 2017).

Nos Estados Unidos, para a região do cinturão do milho (*corn belt*), que responde pela maior produção de milho do país, na década de 1970, o Melhoramento do milho já focava na produtividade e tolerância aos estresses abióticos, como a seca (Campos et al., 2004). Como resultado de esforços de mais de uma década direcionados para tolerância ao estresse hídrico, foi obtida a formação do híbrido Pioneer AQUAmax[®] (Cooper et al., 2014). Este híbrido é resultado de um conjunto de híbridos que apresenta melhor produtividade sob condições de seca, com produção estável. Foram melhorados no AQUAmax[®] a arquitetura de planta e o aprofundamento do sistema radicular, que melhoram o desempenho sob períodos prolongados de deficiência hídrica (Hammer et al., 2009). O híbrido ‘Agrisure Artesian[®]’ da empresa Syngenta, assim como o AQUAmax[®], foi desenvolvido através da soma do Melhoramento convencional, seleção de genes de cultivares crioulas, com uso de marcadores moleculares (Edmeads et al., 2013).

No Brasil, em 1982 foi desenvolvida a cultivar ‘IAC Maya Latente’ na qual foi incorporado o fator “latente” como resposta à seca e ao frio. Com esse fator há prolongação do estágio vegetativo sob déficit hídrico, permitindo que o florescimento ocorra quando a condição hídrica é restabelecida, com desenvolvimento rápido para completar o ciclo (Miranda et al., 1982). A ‘IAC Maya Latente’ foi usada em estudo de progênies

interpopulacionais que foram testadas para tolerância à seca, e apresentou redução de somente 22,9% na produção em condição de estresse, enquanto a testemunha apresentou redução de 49,9% (Bernini et al., 2016). Em 1992, a EMBRAPA Milho e Sorgo iniciou a formação da cultivar ‘Sin EEL Flint’ por meio de recombinações com germoplasma de ‘Cateto’ (cultivar crioula mexicana que possui alto nível de tolerância à seca), que possui ciclo intermediário e estatura média de planta, com grãos duros e de coloração alaranjada (Gama et al., 2003).

Estudos sobre a tolerância a deficiência hídrica continuam sendo realizadas no Brasil. Ao estudar dois híbridos de milho: ‘DKB 390’ (tolerante) e ‘BRS 1030’ (sensível); em diferentes estágios de desenvolvimento: V5, VT e R3 e combinados para gerar estresses acumulativos durante o ciclo: V5VT, V5R3, VTR3 e V5VTR3, na Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais, Souza et al. (2016) concluíram que a maior tolerância do ‘DKB 390’ pode ser atribuída à memória de exposição prévia ao estresse hídrico em diferentes estágios de desenvolvimento. A maior tolerância à seca do híbrido ‘DKB 390’ pode ser explicada pela ocorrência de mudanças morfológicas e morfoanatômicas (Souza et al., 2016).

A Transformação Genética para tolerância ao estresse hídrico também vem sendo testada. O gene ZAR1 (Zeamays ARGOS), gene ARGOS, regulador de auxina, foi inserido de *Arabidopsis thaliana* L. (planta modelo, cujo genoma já foi sequenciado), envolvido no tamanho dos órgãos, foi inserido no milho para aumentar a produtividade e testado para a tolerância à seca (Guo et al., 2014). O gene ZAR1 demonstrou influenciar alguns traços das plantas de milho que estão relacionados à tolerância, como reduzir o intervalo entre florescimento, o número de grãos abortados e a esterilidade. A empresa Monsanto desenvolveu o híbrido ‘MON 87460’, que é uma cultivar transgênica de milho com tolerância à seca, que possui o evento ‘Droughtgard®’ (Chang et al., 2013).

A Transformação Genética também foi utilizada para interferir na produção de etileno, um fitohormônio que é sintetizado em todos os tecidos vegetais e induz à senescência das folhas (Habben et al., 2014). Após estresse hídrico, o transgênico reduziu a síntese de etileno, diminuiu o intervalo entre antese-espigamento e aumentou o número de grãos por espiga, resultando em aumento de $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$. Entretanto, os autores ressaltam que é muito simplista relacionar de forma direta a supressão do etileno com aumento direto na produtividade.

Pesquisas precisam continuar a ser realizadas em todo o mundo para melhorar a tolerância à deficiência hídrica em milho. Para isso, algumas tecnologias se mostram promissoras, como a seleção assistida por marcadores moleculares, a qual apresenta um impacto significativo e que quando bem executada, pode duplicar os ganhos da seleção convencional de tolerância à seca (Chang et al., 2013). O mapeamento genético realizado através de marcadores moleculares, pode ser usado para identificar o número e as posições genéticas dos Locus de Características Quantitativas (QTL), associados a um genótipo específico para o estresse hídrico (Campos et al., 2004). Estas tecnologias, associadas à seleção convencional, podem garantir os avanços necessários para tornar as cultivares de milho produtivas em condições de deficiência hídrica. O próximo passo consistiria em, além de desenvolver novas tecnologias, realizar pesquisas locais, visando explorar a variabilidade genética disponível. Isto porque uma tecnologia ou uma cultivar que se adapta e produz bem em um local pode não ter o mesmo desempenho ou ser aceita em outro(s) local(is).

Para assegurar uma produção de alimentos para as gerações futuras, além de pensar em garantir aumento da produção, também precisam ser consideradas as particularidades de cada local e dos produtores, as características socioeconômicas e culturais. Cultivares de milho desenvolvidas para a região do cinturão do milho, nos Estados Unidos, podem ser mais direcionadas para aumento da produtividade aproveitando melhor os recursos disponíveis, principalmente melhor eficiência no uso da água. Enquanto que uma cultivar desenvolvida

para as condições africanas deve ser capaz de garantir produção com poucos nutrientes, incluindo a água. No RS, em particular, é necessário buscar cultivares com ciclo mais curto, para uso em rotação com a soja, com maior tolerância à deficiência hídrica e custo mais baixo da semente.

CONCLUSÕES

1. A cultura do milho apresenta ampla capacidade de adaptação.
2. As cultivares crioulas de milho possuem ampla variabilidade genética, o que as torna fundamentais para garantir a produção de milho no futuro.
3. Avanços científicos em pesquisa com a cultura do milho têm contribuído para aumentar sua adaptação em cenários de falta de água.
4. Milho híbrido para lavouras de alto nível tecnológico, VPA melhoradas e crioulas são adequadas para locais com baixa disponibilidade de insumos (baixo nível tecnológico), como a África, na agricultura familiar do Nordeste brasileiro, o Rio Grande do Sul, entre outros.

LITERATURA CITADA

- Andrade, R. V.; Santos, M. X.; Ferreira, A. S.; Oliveira, A. C. Avaliação de acessos de milho crioulo coletados na região central do Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, p.67-74, 2002.
- Argenta, G.; Sangoi, L.; Silva, P. R. F. da; Rampazzo, C.; Gracietti, L. C.; Strieder, M. L.; Forsthofer, E. L.; Suhre, E. Análise econômica de estratégias de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes. *Scientia Agrária*, v.4, p.27-34, 2003.
- Bänziger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D.; Bellon, M. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. México, D. F. CIMMYT, 2000. 68p.
- Bänziger, M.; Sentimela, P. S.; Hodson, D.; Vivek, B. Breeding for improved abiotic stress tolerance in Africa in maize adapted to southern Africa. *Agriculture and Water Management*, v.80, p.212-214, 2006.

- Bergamaschi, H.; Dalmago, G. A.; Bergonci, J. I.; Bianchi, C. A. M.; Müller, A. G.; Comiran, F.; Heckler, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.831-839, 2004.
- Bergamaschi, H.; Matzenauer, R. O milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84p.
- Berlato, M. A.; Farenzena, H.; Fontana, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade de milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.423-432, 2005.
- Bernini, C. S.; Guimarães, P. S.; Carlini-Garcia, L. A. Paterniani, M. E. A. G. Z. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênies interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.15, p.39-52, 2016.
- Bianchetto, R.; Fontanive, D. E.; Cezimbra, J. C. G.; Krynski, A. M.; REMIRES, M. F.; Antonioli, Z. I.; Souza, E. L. Desempenho Agrônômico de Milho Crioulo em Diferentes Níveis de Adubação no Sul do Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, v.3, p.528-545, 2017.
- Berlato, M. A.; Farenzena, H.; Fontana, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade de milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.423-432, 2005.
- Bolaños, J.; Edmeades, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research*. V.48, p.65–80, 1996.
- Brieger, F. G.; Gurgel, J. T. A.; Paterniani, E.; Blumenschein, A.; Alleoni, M. R. Races of maize in Brazil and other eastern south american countries. Publication 593. National Academy of Sciences – National Research Council, Washington, D. C. 1958. 283p.
- Boef, W. S. Biodiversidade e agrobiodiversidade. In: Boef, Walter Simon de et al. (editores). Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitário. [Tradução Juliana Vitória Bittencourt e Gustavo Rinald Althoff; Maria José Guazzelli e Andréa Lúcia Paiva Padrão (org.); Hatsi Corrêa Galvão do Rio Apa (ilustrações)]. Porto Alegre, RS: L&PM, p.36-40, 2007.
- Boyer, J. S. Grain yields with limited water. *Journal of experimental Botany*, v.55, p.2385-2394, 2004.
- Cairns, J. E.; Crossa, J.; Zaidi, P. H.; Grudloyma, P.; Sanchez, C.; Araus, J. L.; Thaitad, S.; Makumbi, D.; Magorokosho, C.; Bänziger, M.; Menkir, A.; Hearne, S.; Atlin, G. N. Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize (*Zea mays* L.). *Crop Science*. v.53, p.1335-1346, 2013.

- Campos, H.; Cooper, M.; Habben, J. E.; Edmeades, G. O.; Schussler, J. R. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*, v.90, p.1-34, 2004.
- Chang, J.; Clay, D. E.; Hansen, S. A.; Clay, S. A.; Schumacher, T. E.; Water Stress Impacts on Transgenic Drought-Tolerant Corn in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, v.106, 2014.
- Chapman, S. C.; Edmeades, G. O. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: II. Direct and correlated responses among secondary traits. *Crop Science*, v.39, p. 1315-1324, 1999.
- Conagin, A. O milho no Brasil. Em *Cultura e Adubação do Milho*. Páginas 21-77. Editor Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo. Brasil. 1966. 541p.
- Correa, V. H. C.; Ramos, P. Evolução das políticas públicas para a agropecuária brasileira: uma análise da expansão da soja na região Centro-Oeste e os entraves de sua infraestrutura de transportes. *Informações Econômicas*, SP, v.40, 2010.
- EMATER. Rio Grande do Sul/Ascar. Relatório de atividades 2012. Porto Alegre: Emater/RS - Ascar, 2012. 131p. Online. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/br/arquivos/sobre/Relatorio%20de%20Atividades-2012.pdf>>. Acesso: em 14 mai. 2018.
- Fancelli, A.L.; Dourado-Neto, D. Produção de milho. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FAOSTAT: FAO. Statistical Databases. <http://faostat.fao.org>. 2017. Acesso: em 14 mai. 2018.
- Gomes e Gama, E. E.; Santos, M. X.; Ferrão, R. G.; Meireles, W. F.; Pacheco, C. A. P.; Parentoni, S. N.; Guimarães, P. E. O. Potencial genético de um sintético de milho de grãos duros para formação de híbridos. *Ciência Rural*, v.33, 2003.
- Grassini, P.; Bussel, L.G.J.; Van Wart, J.; Wolf, J.; Claessens, L.; Yanga, H.; Boogaarde, H.; Groot, H.; Van Ittersumb, M. K.; Cassman, K. G. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*. V.177, p. 49–63, 2015.
- Guo, M.; Rupe, M. A.; Wei, J.; Winkler, C.; Goncalves-Butruille, G.; Weers, B. P.; Cerwick, S. F.; Dieter, J. A.; Duncan, K. E.; Howard, R.; Hou, Z.; Löffler, C. M.; Cooper, C.; Simmons, C. R. Maize ARGOS1 (ZAR1) transgenic alleles increase hybrid maize yield *Journal of Experimental Botany*, v.65, p. 249–260, 2014.
- Guimarães, P. S.; Bernini, C. S.; Pedroso, F. K. J. V.; Paterniani, M. E. A.G. Z. Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L) for water shortage by principal components analysis. *Maydica electronic publication*, v.59, p.72-79, 2014.

- Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*. v.13, p.35-58, 2000.
- Hammer, G. L.; Dong, Z.; McLean, G.; Doherty, A.; Messina, C.; Schussler, J.; Zinselmeier, C.; Paszkiewicz, S.; Cooper, M. Can changes in canopy and/or root systems architecture explain historical maize yield trends in the U.S. Corn Belt? *Crop Science*, v.49, p.299–312, 2009.
- Habben, J. E.; Bao, X.; Bate, N. J.; DeBruin, J. L.; Dolan, D.; Hasegawa, D.; Helentjaris, T. G.; Lafitte, R. H.; Lovan, N.; Mo, H.; Reimann, K.; Schussler, J. R.; Transgenic alteration of ethylene biosynthesis increases grain yield in maize under field drought-stress conditions. *Plant Biotechnology Journal*, v.12, p.685–693, 2014.
- IBGE, 2010. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < https://censo2010.ibge.gov.br/>*. Acessado em: Accessed: Feb. 27, 2018.
- IPCC. Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Available from: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Accessed: Feb. 27, 2018.
- Kaufmann, MP, Reiniger LRS, Wizniewsky JG. A conservação integrada da agrobiodiversidade crioula. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.13, p.36-43, 2018.
- Krug, C. A. O milho no mundo. IN: CONAGIN, A. O milho no Brasil. Em *Cultura e Adubação do Milho*. Páginas 11-79. Editor Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo. Brasil. 1966. 541p.
- Le Clerc, V.; Bazante, F.; Baril, C.; Guiard, J.; Zhang, D. Assessing temporal changes in genetic diversity of maize varieties using microsatellite markers. *Theor Appl Genet*, v.110, p.294–302, 2005.
- Lunduka, R. W.; Mateva, K. I.; Magorokosho, C.; Manjeru, P. Impact of adoption of drought-tolerant maize varieties on total maize production in south Eastern Zimbabwe. *Climate and Development*, p.1-13, 2017.
- Machado, A. T.; Santilli, J.; Magalhães, R. A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais e jurídicas. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008.
- Machado, A. T.; Machado, C. T. T.; Nass, L. L. Manejo da diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.6, p.127-136, 2011.
- Meirelles, L. R.; Rupp, L. C. D (coord.). *Biodiversidade: passado, presente e futuro da humanidade*. Brasília: MMA, 2006.

- Miranda, L. T.de; Miranda, L. E. C. de; Sawazaki, E.; Schmidt, N. C. Maize Genetics Cooperation Newsletter, v.56, p.32-33, 1982.
- Oliveira, D. E. C.; Santos, M. N. S.; Rufatto, S. Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar p3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem. *Nativa*, v.02, p.162-165, 2014.
- Ortiz, R., Sayre, K. D.; Govaerts, B.; Gupta, R.; Subbarao, G. V.; Ban, T.; Hodson, D.; Dixon, J. M.; Ortiz-Monasterio, J. I.; Reynolds, M. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.126, p.46-58, 2008.
- Perry, L.; Sandweiss, D. H.; Piperno, D. R.; Rademaker, K.; Malpass, M.A.; Umire, A.; Vera, P. de la. Early maize agriculture and interzonal interaction in southern Peru. *Nature*, v.440, p.76-79, 2006.
- Prasanna, B. M. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal Bioscience*. v.37, p.843–855, 2012.
- Ribaut, J. M.; Bétran, J.; Monneveux, P.; Setter, T. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J. L.; Hake, S.C. (Eds.). *Handbook of maize: Its biology*. Netherlands: Springer, p.311-344, 2009.
- Romay, M. C.; Millard, M. J.; Glaubitz, J. C.; , Peiffer, J. A.; Swarts, K. L.; Casstevens, T. M.; Elshire, R. J.; Acharya, C. B.; Mitchell, S. E.; Flint-Garcia, S. A.; McMullen, M. D.; Holland, J. B.; Buckler, E. S.; Gardner, C. A. Comprehensive genotyping of the USA national maize inbred seed bank. *Genome Biology*, v.14, p.1-18, 2013.
- Sandri, C.; Tofaneli, M. B. D. Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. *Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG)* v.38, p. 59-61, 2008.
- Sangoi, L.; Silva, P.R.F. Ecofisiologia e estádios fisiológicos. In: Filho, J.A.W.; Elias, H.T. *A cultura do milho em Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, Cap.2, p.47-114, 2010.
- Serpoly-Besson, E.; Giuliano, S.; Schermann, N.; Chable, V. Evaluation of Evolution and Diversity of Maize Open-Pollinated Varieties Cultivated under Contrasted Environmental and Farmers' Selection Pressures: A Phenotypical Approach. *Open Journal of Genetics*, v.4, p.125-145, 2014.
- Setimela, P., J. MacRobert, G.N. Atlin, Magorokosho, C. A.; Tarekegne, D. Makumbi, and G. Taye. Performance of elite maize varieties tested on-farm trials in eastern and southern Africa. In: ASA, CSSA, and SSSA International Annual Meetings. p. 21–24. 2012.
- Setimela, P., J.; Magorokosho, C. A.; Lunduka, R.; Gasura, E.; Makumbi, D.; Tarekegne, A.; Cairns, J. E.; Ndhlela, T.; Erenstein, O.; Mwangi, W.. On-Farm Yield Gains with Stress-Tolerant Maize in Eastern and Southern Africa. *Agronomy Journal*, v.109, 2017.

Silva, F. M.da; Alves, L.S.; Botelho Filho, F. B.; Silva, I. S. Liquidez dos contratos futuros de milho negociados na BM&FBOVESPA. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v.9, p.26-44, 2017.

Soler, C. M. T.; Sentelhas, P. C.; Hoogenboom, G. The impact of El Nino Southern Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. *International journal of climatology*, v.30, p.1056–1066, 2010.

Souza, T. C.; Magalhães, P. C.; Evaristo Mauro de Castro, E. M.; Vinícius Politi Duarte, V. P.; Lavinsky, A. O. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.330-339, 2016.

Taiz, L; Zeiger, E. 2013. *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. 954p.

Zago, N. J. Caracterização sócio-cultural de agricultores e avaliação de suas populações locais de milho “crioulo” no Alto Vale do Itajaí. UFSC, 2002. 190p. Dissertação de Mestrado.

5. ARTIGO 2

TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA DE MILHO CRIOULO E MELHORADO DETERMINADA PELA FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar a tolerância a deficiência hídrica na fase reprodutiva de cultivares melhoradas e crioulas de milho em campo e em vaso utilizando a metodologia da FATS. No experimento em campo, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram utilizadas as cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico-de-ouro’, e as melhoradas, ‘BRS Planalto’ (tipo VPA) e ‘AS 1573PRO’ (híbrido simples), em sistema de manejo irrigado e não irrigado em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se as espigas das plantas avaliadas. Os experimentos com a metodologia da FATS foram conduzidos em 2016/2017 e em 2017/2018. A imposição do déficit hídrico foi próximo ao estágio de pendoamento. Após, foram selecionadas 20 plantas de cada cultivar, sendo 10 conduzidas com irrigação e 10 submetidas à déficit hídrico (recebendo 50 % da água transpirada). Em quatro plantas de cada tratamento foram realizadas medidas de trocas gasosas na última folha expandida. Em campo e para a determinação das FATS foram avaliados o desenvolvimento das plantas através da contagem do número de folhas e avaliação da data de ocorrência dos estágios: emergência, pendoamento, espigamento e maturação fisiológica. O crescimento das plantas da FATS foi avaliado medindo a estatura e a área foliar. O delineamento foi inteiramente casualizado. Através do experimento no campo, no primeiro ano, foi possível verificar que as cultivares crioulas apresentaram produtividade similar no sistema irrigado e não irrigado, enquanto que as melhoradas aumentaram a produtividade sob irrigação. Isso demonstra que respondem quando são realizadas melhorias no manejo, enquanto que as crioulas mantêm produtividade estável. No segundo ano, a produtividade das cultivares não diferiu entre os manejos. Para a FATS, o ‘AS 1573PRO’ e ‘Cinquentinha’ apresentaram valores similares no primeiro ano, FATS = 0,71, e 0,67 para a ‘Bico-de-ouro’. Já no segundo ano, ‘AS 1573PRO’ apresentou maior FATS, 0,73, seguido pela ‘Cinquentinha’, FATS = 0,65 e novamente à ‘Bico de ouro’ (0,64). As medidas de trocas gasosas demonstraram que a ‘Cinquentinha’ possui maior controle estomático, mantendo pequena abertura estomática, transpiração e fotossíntese por mais dias que as demais. A cultivar ‘AS 1573PRO’ possui maior tolerância indicada pela FATS por fechar antes os estômatos para preservar água, quando se trata de um período curto de deficiência. A ‘Cinquentinha’, que demonstrou tolerância menor por essa metodologia, em condições de cultivo, quando o estresse hídrico por período mais prolongado, é mais tolerante. Pois produziu duas espigas com grãos mesmo em condições extremas de deficiência no experimento da FATS.

Palavras-chave: *Zea mays* L., variabilidade genética, déficit hídrico, FATS.

ABSTRACT

O objetivo deste trabalho foi comparar a tolerância a deficiência hídrica na fase reprodutiva de cultivares melhoradas e crioulas de milho em campo e em vaso utilizando a metodologia da FATS. No experimento em campo, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram utilizadas as cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico-de-ouro’, e as melhoradas, ‘BRS Planalto’ (tipo VPA) e ‘AS 1573PRO’ (híbrido simples), em sistema de manejo irrigado e não irrigado em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). No ano 2015/16 a semeadura foi em 23/10/2016 (todas as cultivares) e em 2016/17 foi em 21/12/2016 (‘Bico-de-ouro’) e em 29/12/2016 (‘Cinquentinha’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’). A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se as espigas das plantas avaliadas. Os experimentos em vasos, com a metodologia da FATS foram conduzidos em 2016/2017 (mesmas datas de semeadura do campo) e em 2017/2018 (semeadura em 28/09/2017 para ‘Bico de ouro’ e 05/10/2017 para ‘Cinquentinha’ e ‘AS 1573PRO’). A imposição do déficit hídrico foi próximo ao estágio de pendoamento. Após, foram selecionadas 20 plantas de cada cultivar, sendo 10 conduzidas com irrigação e 10 submetidas à déficit hídrico (recebendo 50 % da água transpirada). Em quatro plantas de cada tratamento foram realizadas medidas de trocas gasosas na última folha expandida. Em campo e para a determinação das FATS foram avaliados o desenvolvimento das plantas através da contagem do número de folhas e avaliação da data de ocorrência dos estágios: emergência, pendoamento, espigamento e maturação fisiológica. O crescimento foi avaliado pela medida de área foliar. O delineamento foi inteiramente casualizado. Através do experimento no campo, no primeiro ano, foi possível verificar que as cultivares crioulas apresentaram produtividade similar no sistema irrigado e não irrigado, enquanto que as melhoradas aumentaram a produtividade sob irrigação. Isso demonstra que respondem quando são realizadas melhorias no manejo, enquanto que as crioulas mantêm produtividade estável. No segundo ano, a produtividade das cultivares não diferiu entre os manejos. Para a FATS, o ‘AS 1573PRO’ e ‘Cinquentinha’ apresentaram valores similares no primeiro ano, FATS = 0,71, e 0,67 para a ‘Bico-de-ouro’ Já no segundo ano, ‘AS 1573PRO’ apresentou maior FATS, 0,73, seguido pela ‘Cinquentinha’, FATS = 0,65 e novamente com a menor FATS a ‘Bico de ouro’ (0,64). As medidas de trocas gasosas demonstraram que a ‘Cinquentinha’ possui maior controle estomático, pois manteve pequena abertura estomática, transpiração e fotossíntese por mais dias que as demais. A cultivar ‘AS 1573PRO’ possui maior tolerância indicada pela

FATS por fechar antes os estômatos para preservar água, quando se trata de um período curto de deficiência. A ‘Cinquentinha’, que demonstrou tolerância menor por essa metodologia, em condições de cultivo, quando o estresse hídrico for por período mais prolongado, é mais tolerante. Pois produziu duas espigas com grãos mesmo em condições extremas de deficiência no experimento da FATS, ou seja, mesmo com redução da produção irá produzir grãos.

Keywords: *Zea mays* L., genetic variability, water deficit, FATS.

INTRODUÇÃO

No cultivo de milho os agricultores utilizam cultivares com diferente variabilidade genética, desde os híbridos simples possuidores de menor variabilidade até as crioulas, possuidoras de maior variabilidade. Não somente a questão econômica é determinante na escolha de qual tipo de cultivar utilizar, mas fatores socioculturais também contribuem. As cultivares híbridas são utilizadas quando se busca altas produtividades e o investimento em insumos é elevado (Argenta et al., 2004). As cultivares crioulas são geralmente utilizadas por agricultores que possuem maior diversificação em sua propriedade, onde cada cultivar possui uma diferente finalidade de uso, como artesanato, farinha, para alimentar animais e consumo in natura. Muitos agricultores e em alguns casos toda a comunidade, cultiva milho crioulo também visando a conservação das sementes crioulas (Kaufmann et al., 2018).

Um dos fatores que mais causa perdas na produção agrícola é a deficiência hídrica, pois a água é um elemento essencial para o metabolismo, transporte e translocação de solutos, turgescência das células, abertura e fechamento dos estômatos, sendo determinante para o crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente, produção das plantas (Martins et al., 2008; Lago et al., 2011). A produção de grãos na cultura do milho possui estreita relação com a disponibilidade de água, pois a falta dessa durante o período vegetativo reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa (Bergamaschi et al., 2006). O impacto é ainda maior se a deficiência ocorrer no período próximo ao pendoamento podendo chegar a perdas de produção ao redor de 50% (Fancelli e Dourado-Neto, 2000).

Com os avanços das técnicas do melhoramento genético, associado com as melhorias no manejo agrônômico, buscou-se melhorar as cultivares de milho, para altos rendimentos e o aumento da tolerância aos estresses bióticos e abióticos, visando a estabilidade da produção, mesmo em ambientes diversos (Tollenaar e Lee, 2002). Por outro lado, existem afirmações de que a tolerância aos estresses correlaciona-se de forma negativa com aumento do rendimento

(Jensen e Cavalieri, 1983). Essa correlação negativa pode estar associada com a redução da variabilidade genética das cultivares melhoradas, podendo, por exemplo, influenciar negativamente a resposta em condições de déficit hídrico.

Na literatura os trabalhos comparando cultivares com diferente variabilidade genética são pouco conclusivos para resposta ao déficit hídrico. Por exemplo, Sangoi (1990) e Sangoi et al. (2006), obtiveram melhores resultados para as cultivares melhoradas em relação às de polinização aberta em diferentes níveis de manejo, inclusive em relação à deficiência hídrica, porém a comparação foi com cultivares que já haviam passado por algum processo de seleção, não sendo mais possuidoras de ampla variabilidade genética. Já Carpentiere-Pipolo et al. (2010), avaliando cultivares crioulas, mostrou que apesar de serem menos produtivas que as melhoradas, apresentam elevado potencial de produção em condições de cultivo de baixa tecnologia (manejo), mas não chegou a uma conclusão em relação a resposta das cultivares crioulas ao estresse por déficit hídrico. Diante disso, é pertinente estender os estudos para conhecer a resposta ao déficit hídrico das crioulas e sua influência na produtividade dessas cultivares em relação às cultivares melhoradas, em nível de manejo que propicie o estudo desse fator, tanto em campo como em condições controladas de disponibilidade de água.

Para estudar a resposta das culturas ao déficit hídrico, o conceito da fração de água transpirável no solo (FATS) é o que mais se aproxima como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração (Santos e Carlesso 1998). Para a determinação da FATS, são considerados dois estágios (Sinclair e Ludlow 1986; Muchow e Sinclair, 1991): estágio I, quando a água está disponível livremente no solo, a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são máximas; estágio II, quando a água disponível no solo começa reduzir, e ocorre redução da transpiração devido ao início do fechamento estomático, momento definido como FATS crítica (FATSc). Na segunda fase, a partir da FATSc ocorre redução na transpiração proporcional a redução da FATS até a transpiração da planta ser igual a 10 % da máxima (início da terceira fase). A FATSc é um índice de interesse por representar a capacidade da planta em responder ao déficit hídrico no solo para manter a turgescência celular.

A quantificação da disponibilidade de água no solo e o efeito da redução sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, é fundamental para conhecer a tolerância à deficiência hídrica das cultivares de milho, principalmente na fase de maior sensibilidade. Para a cultura do milho, a FATS crítica já foi determinada para a fase vegetativa: 0,31 (Ray e Sinclair, 1997) e 0,3 (Muchow e Sinclair, 1991), 0,31 – 0,38 (Ray et al., 2002) e 0,34 (Wahbi e Sinclair, 2007), mas, na fase reprodutiva, não foram encontrados trabalhos na literatura,

assim como o uso da metodologia da FATS para comparar a tolerância a deficiência hídrica de cultivar híbrida e milho crioulo. O objetivo deste trabalho foi comparar a tolerância a deficiência hídrica na fase reprodutiva de cultivares melhoradas e crioulas de milho em campo e em vaso utilizando a metodologia da FATS.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento de campo

Os experimentos de campo foram conduzidos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017, em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43' S, longitude: 53° 43' W e altitude: 95m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa Subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (Kuinchner et al., 2001). O solo do local é classificado como de transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado Alítico úmbrico) (Streck et al., 2008).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições em 2015/2016, e três repetições em 2016/2017, sendo cada repetição uma parcela constituída de cinco linhas medindo 5,0 m de comprimento. As cultivares utilizadas foram: duas crioulas, 'Cinquentinha' (ciclo Precoce) e 'Bico-de-ouro' (ciclo Tardio) e duas melhoradas, 'BRS Planalto' do tipo VPA (ciclo Precoce) e 'AS 1573PRO', um híbrido simples (ciclo precoce).

O espaçamento foi de 1,0 m entre linhas nas parcelas com as cultivares crioulas e de 0,5 m nas parcelas com as cultivares melhoradas. O uso de diferentes espaçamentos foi para adequar as plantas à condição próxima daquela em que são cultivadas em campo pelos agricultores. A densidade de plantas foi de 6,0 pl/m². Foram avaliadas 30 plantas por parcela das cultivares crioulas, devido a maior variabilidade, e 10 plantas das cultivares melhoradas, nas três linhas centrais.

A correção do solo foi realizada por meio da incorporação de calcário com PRNT 76,16% para atingir o pH 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004). A adubação de base foi de acordo com a fertilidade de cada bloco com adubo (NPK) na fórmula 5-20-20. O Nitrogênio foi colocado na forma de ureia, fracionado em três momentos: estágios V3-V4; V6-V7; V10-V11 (Argenta et al., 2001).

As avaliações realizadas foram: contagem semanal do número de folhas total (NFT) e expandidas (NFE); data da emergência, do pendoamento (VT), do florescimento feminino (R1) e da maturação fisiológica (R6), segundo a escala proposta por Ritchie et al. (1993). Para avaliar o crescimento, foi medida área foliar (comprimento x largura máxima) verde de cada folha em centímetros, de três plantas por repetição das cultivares melhoradas e nove das cultivares crioulas. Para a determinação da produtividade foram colhidas as espigas das plantas marcadas quando completado o estágio R6, determinando o número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa seca média de 100 grãos.

No ano de 2015/2016 a semeadura foi realizada em 23/10/2015 para todas as cultivares. Em 2016/2017 a semeadura foi realizada em 29/10/2016, para todas as cultivares. Porém, quando as plantas estavam entre V5-V6 foram afetadas por manchas foliares, o que resultou em perda do experimento e necessidade de realizar outra semeadura. A nova semeadura foi realizada em 21/12/2016 para a ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 para a ‘AS 1573PRO’, ‘BRS Planalto’ e ‘Cinquentinha’. A semeadura da ‘Bico de ouro’ foi antecipada com o objetivo de sincronizar a data da floração, pois como é de ciclo tardio, floresce em momento diferente das demais.

Para o manejo da irrigação foi calculado balanço hídrico diário. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). As variáveis meteorológicas foram coletadas da estação meteorológica automática pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET) localizada a aproximadamente 100 metros da área experimental. A estimativa da ET_c ($mm\ d^{-1}$) foi realizada multiplicando-se a ET_o pelo coeficiente de cultura simples (K_c) propostos por (Allen et al., 1998). Foi realizada irrigação suplementar de 20 mm sempre que a evapotranspiração da cultura acumulava valores de 20 mm, para manter o solo com umidade acima de 75% da CAD (CAD do solo: 140 mm até 1 m de perfil). A irrigação suplementar foi realizada por gotejamento através de mangueiras gotejadoras colocadas na linha das plantas.

Experimento para determinação da FATS

As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno com capacidade de nove litros. A parede externa dos vasos foi pintada de branco para reduzir a absorção de radiação solar, minimizando o aumento da temperatura, que poderia ser uma fonte de erro experimental. Os vasos foram preenchidos com solo do horizonte A, retirado de local próximo ao experimento de campo. O qual foi destorroado, seco ao ar e peneirado. A correção do pH foi realizada com

calcário incorporado para pH 6,0 (CQFS, 2004), cerca de um mês antes da semeadura. A semeadura foi realizada em 40 vasos de cada cultivar, sendo semeadas três sementes por vasos. Após a emergência fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Os vasos foram colocados sobre bancada elevada cerca de 20 cm do solo para evitar que as raízes atingissem o solo. A correção da fertilidade do solo foi com NPK fórmula 5-20-20, incorporado. Aplicação de Nitrogênio na forma de ureia foi fracionada em quatro momentos: estágios V3-V4; V6-V7; V10-V11 e V12 (Argenta et al. 2001; Forsthofer et al. 2004). A cada dois dias após as plantas atingirem o estágio V3 foi realizada a adição de solução nutritiva (Hoagland e Arnon, 1938). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. O experimento foi conduzido com os vasos no campo até as plantas estarem próximas de atingirem o estágio VT (pendoamento), quando foram selecionadas 20 plantas de cada cultivar para serem levadas para abrigo, uma estrutura coberta de plástico para evitar que recebessem água da chuva.

As cultivares utilizadas foram as mesmas do experimento de campo ('Cinquentinha', 'Bico-de-ouro' e 'AS 1573PRO'), com exceção da 'BRS Planalto'. A data de semeadura em 2016/2017 foi a mesma do campo: 21/12/2016 para a 'Bico de ouro' e 28/12/2016 para a 'AS 1573PRO' e 'Cinquentinha'. Em 2017/2018 foi realizada a semeadura nos vasos para 'Bico de ouro' em 28/09/2017, e 05/10/2017 para 'AS 1573PRO' e 'Cinquentinha'.

Aplicação do déficit hídrico

Inicialmente os vasos com as plantas foram colocados dentro de baldes com água e solução nutritiva dissolvida no dobro de água, por 24 horas para saturar. Os vasos foram cobertos com filme plástico branco para minimizar a perda de água pela evaporação do solo. No dia seguinte foram deixados para drenar por quatro horas, considerando que nesse momento os vasos atingiram a capacidade de campo, quando foi obtido o peso inicial de cada vaso.

Diariamente, às 16 horas, os vasos eram pesados em balança de precisão de 5 gramas com capacidade de 50kg. Após a pesagem, em metade das plantas de cada cultivar (10 vasos), que foram conduzidas sem déficit hídrico (T1), era repostada toda a água consumida. A outra metade das plantas de cada cultivar (10 vasos) foi conduzida com déficit hídrico (T2), recebendo somente 50% da água consumida. A solução nutritiva foi aplicada a cada dois dias. A transpiração relativa (TR), a qual representa a transpiração diária das plantas com deficiência em relação a das plantas sem deficiência hídrica (máxima transpiração), foi calculada segundo a metodologia de Sinclair e Ludlow. (1986):

$$TR = \frac{\text{Perda de água diária pelas plantas do T2 (cada vaso)}}{\text{Média da perda de água diária pelas plantas do T1}} \quad (1)$$

A TR foi calculada diariamente durante o período de deficiência hídrica. O experimento teve seu término quando a TR das plantas com deficiência hídrica atingiu o limite de 10% da TR das plantas sem deficiência hídrica ($TR \leq 0,1$). No ano de 2016/2017 a imposição do déficit iniciou no dia 22/02/2017 e terminou no dia 07/03/2017 (duração de 15 dias), no ano de 2017/2018 iniciou no dia 12/12/2017 e terminou no dia 22/12/2017 (duração de 10 dias).

Após o término de cada experimento foi calculada a FATS, segundo a metodologia proposta por Sinclair e Ludlow. (1986). A FATS foi determinada para cada vaso do T2, em cada dia, pela equação:

$$FATS = \frac{\text{massa de cada vaso em cada dia} - \text{massa final}}{\text{massa inicial de cada vaso} - \text{massa final}} \quad (2)$$

Durante o experimento foram realizadas as avaliações de contagem do número de folhas (expandidas e totais), e medida da estatura (da superfície do vaso até a inserção da última folha expandida) no primeiro e no último dia. Diariamente (2016/2017) e a cada três dias (2017/2018) foi medido o comprimento e a largura verde das folhas para calcular a área foliar (AF) utilizando as equações obtidas por Alves (2017).

O crescimento foliar, ou a senescência das folhas, em centímetros foi determinado através da subtração da área foliar verde do dia, em relação a área foliar verde do dia inicial. A TR foi submetida a duas normalizações. A primeira foi com o objetivo dos dados ficarem entre os valores de 0 e 1 (equação 1). A segunda normalização foi realizada para reduzir a variação entre plantas. Procurou-se determinar um valor de FATS acima da qual os valores de TR apresentaram maior variabilidade em todas as plantas, sendo considerado FATS de 0,60. Para cada repetição, foi calculada a média dos valores de TR com FATS igual ou maior que 0,60, os valores iniciais de TR foram divididos por essa média, obtendo a TRN.

Os dados de TRN foram plotados em função da FATS sendo ajustada uma equação logística (SINCLAIR e LUDLOW, 1986; RAY e SINCLAIR, 1997):

$$y = 1 / \{1 + \exp[-a(x - b)]\} \quad (3)$$

em que Y é a variável dependente (TRN); x é a FATS e “a” e “b” são coeficientes empíricos que foram determinados por meio de uma regressão não linear no SAS (*Statistical Analysis System*). Os valores de FATS_c foram determinados para TRN de 0,95 através da equação (Pinheiro et al. 2014):

$$FATS_c = b - \ln(0,0526)/a \quad (4)$$

em que *a* e *b* são os coeficientes empíricos determinados pela regressão não linear no SAS.

Em quatro plantas de cada tratamento foram realizadas medições das trocas gasosas, entre 12:00 e 14:00 horas, quando não havia nebulosidade, obtendo as medidas sob máxima radiação solar. Foi utilizando um medidor (LCI-SD Portable Photosynthesis System). Foram obtidas os valores de condutância estomática (*g_s*) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de fotossíntese (*A*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e transpiração (*E*) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). As medições foram realizadas na última folha expandida exposta ao sol.

A massa seca foi determinada em três plantas de cada cultivar, no dia anterior à imposição do déficit hídrico e, no final do experimento, determinou-se a massa seca de todas as plantas com e sem déficit hídrico.

Os dados de produtividade do experimento de campo, e de duração dos estágios, estatura de planta, massa seca e FATS crítica do experimento da FATS foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS

Experimento de campo

Em 2015/2016, as temperaturas (*T_{min}* e *T_{max}*) estavam mais baixas até o mês de dezembro, durante todo o ciclo de desenvolvimento vegetativo (média de 16,1 °C), elevando-se após esse período e se mantendo elevadas até as plantas atingirem a maturação fisiológica (29/02/2016) (Figura 1). A radiação solar (*R_s*) apresentou maiores oscilações, devido às chuvas, que resultaram em mais dias nublados; maiores valores diários de *R_s* foram observados a partir de dezembro. No ano 2016/2017, como a semeadura foi realizada no verão, em dezembro, as temperaturas e a radiação solar foram elevadas desde a semeadura (21/12 e 28/12/2016), decrescendo no final do ciclo (27/04/2017). Como as semeaduras ocorreram em condições distintas de temperatura do ar e radiação solar, as plantas foram expostas a diferentes condições ambientais.

Nos anos de 2015/2016 e 2016/2017 a precipitação ocorreu de forma regular e bem distribuída durante a fase vegetativa das plantas tanto da cultivar tardia ('Bico de ouro'), como das precoces ('AS 1573PRO', 'BRS Planalto' e 'Cinquentinha') (Figura 2). No ano de 2015/2016 ocorreu estiagem com duração de 17 dias (07/01 a 24/01/2016), sendo necessário realizar irrigação suplementar. Nesse momento as plantas da cultivar 'Bico de ouro' estavam completando o espigamento e iniciando o enchimento de grãos, enquanto que as precoces

estavam iniciando o enchimento de grãos. No ano de 2016/2017 foi necessário realizar irrigação suplementar no período de 22/03 a 17/04/2016, porém ocorreram chuvas neste período (Figura 2). As plantas de todas as cultivares nesse período já estavam aproximadamente na metade da fase de enchimento de grãos (R1-R6), ou seja, num período em que as plantas já possuem sua área foliar definida e estão se aproximando do final do ciclo. Portanto, a área foliar não foi influenciada pela deficiência hídrica.

A análise trifatorial (ano x cultivar x manejo) não foi significativa, houve significância apenas para cada fonte de variação isolada, sendo avaliados os efeitos principais. No ano de 2015/2016, a produtividade das cultivares crioulas foi menor, observando-se menor produtividade na ‘Cinquentinha’, e maior produtividade na ‘AS 1573PRO’ (Tabela 1). Em relação a disponibilidade de água, a produtividade das crioulas não diferiu entre o manejo com e sem irrigação, enquanto que as melhoradas apresentaram maior produtividade no sistema de manejo irrigado. Nesse ano a irrigação suplementar foi realizada quando a ‘Bico de ouro’ estava terminando o espigamento e as demais iniciando o enchimento de grãos (Figura 2). A produtividade das cultivares crioulas não diferiu, ou seja, mantiveram produtividade similar, tanto em ambiente com elevada umidade como em baixa disponibilidade de água. No ano de 2016/2017, a produtividade das cultivares foi maior que no ano anterior, com exceção da ‘Cinquentinha’, que mantém produtividade mais estável (Tabela 1). Em relação à disponibilidade de água, não foi verificada diferença, pois a irrigação suplementar foi necessária quando as plantas já estavam próximas do final do ciclo (Figura 2).

Experimento FATS

Com relação ao número inicial de folhas, expandida e total, observou-se valores similares entre cultivares, nos dois tratamentos e nos dois anos, indicando uniformidade das plantas selecionadas (Figura 3). Em relação ao número de folhas no final do experimento, no ano de 2016/2017 as plantas do tratamento sem déficit de todas as cultivares apresentaram máxima expansão das folhas (Exp). Já no tratamento com déficit, a ‘Bico de ouro’ não completou a expansão de todas as folhas, indicando a influência da restrição hídrica sobre a expansão foliar. No ano de 2017/2018, no tratamento sem déficit, somente a ‘Bico de ouro’ não completou a expansão de todas as folhas, enquanto que, no tratamento com déficit, nenhuma das cultivares completou a expansão, apesar da ‘Cinquentinha’ apresentar pequena redução nessa variável.

As medidas de trocas gasosas em 25/02/2017 indicaram redução de gs, E e A, evidenciando que no segundo dia de imposição do déficit hídrico iniciou o fechamento dos

estômatos, reduzindo transpiração e fotossíntese (Figura 4). Em 27/02 (dois dias após) as demais cultivares já haviam fechado os estômatos, enquanto que a ‘Cinquentinha’ manteve abertura estomática até dia 28/02, assim como para a E e A. No ano de 2017/2018, a redução das taxas iniciou no segundo dia de déficit, sendo que, no terceiro dia, a ‘AS1573PRO’ já estava com gs, E e A reduzidas a zero, enquanto ‘Cinquentinha’ se mantinha com taxas maiores e ‘Bico de ouro’ com valores intermediários.

A área foliar verde de todas as folhas medidas diariamente apresentou redução, ou senescência, nas plantas com déficit hídrico (Figura 5). No ano de 2016/2017 as plantas submetidas ao déficit hídrico da cultivar ‘Bico de ouro’ iniciaram a senescência das folhas no dia 27/02 (senescência de -34,4 cm) e a ‘Cinquentinha’, no dia 28/02/2017 (senescência de -182,2 cm), enquanto que, a ‘AS 1573PRO’ só começou a redução no dia 01/03/2017 (senescência de -50,1 cm). No ano de 2017/2018, não foi possível determinar precisamente o dia em que iniciou a senescência. A cultivar ‘Cinquentinha’ e a ‘Bico de ouro’, começaram a reduzir a área foliar verde a partir do dia 15/12/2017 nas plantas submetidas ao déficit hídrico, enquanto que a ‘AS 1573PRO’ começou a redução no dia 17/12/2017.

A estatura inicial média das plantas no ano 2016/2017, da ‘AS 1573PRO’ foi maior para as plantas selecionadas para o tratamento sem déficit hídrico, enquanto que, para ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ foi maior para as plantas com déficit (Figura 6). No segundo ano ocorreu o contrário, as plantas da ‘AS 1573PRO’ eram menores no tratamento sem déficit e, para as demais cultivares, maior as sem déficit. No final do experimento, a estatura média das plantas com déficit foi menor que as plantas sem déficit, nos dois anos.

Todas as cultivares, nos dois anos, aumentaram a massa seca de raízes e da parte aérea (folhas, colmos, pendão e espiga) em relação ao início, sendo que, no tratamento sem déficit hídrico, as plantas atingiram maiores pesos, com exceção da ‘Cinquentinha’ em 2016/2017, que apresentou maior produção de raízes no tratamento com déficit (Figura 7). Quanto à produção de raízes no tratamento sem déficit, a Bico apresentou maior produção nos dois anos, seguida pela ‘AS 1573 PRO’ e ‘Cinquentinha’, respectivamente (Figura 7). No tratamento com déficit, nos dois anos, a ‘AS 1573PRO’ produziu mais raízes, seguida pela ‘Bico de ouro’ e pela ‘Cinquentinha’. Quanto à parte aérea, no primeiro e no segundo ano, ‘AS 1573PRO’ apresentou maior produção no tratamento sem déficit, seguida pela ‘Bico de ouro’ no primeiro ano e pela ‘Cinquentinha’ no segundo ano. No tratamento com déficit, no primeiro ano, a Bico de ouro apresentou maior produção, seguida pela ‘Cinquentinha’. No segundo ano, ‘cinquentinha’ teve maior produção, seguida pela ‘AS 1573PRO’, e ‘Cinquentinha’.

No ano de 2016/2017 as cultivares ‘AS 1573PRO’ e ‘Cinquentinha’ apresentaram valor de FATSc similar, indicando que ambas fecharam os estômatos em momento similar, enquanto que a ‘Bico de ouro’ apresentou valor mais baixo de FATSc (Tabela 2 e Figura 8). Já no ano de 2017/2018 a ‘AS 1573PRO’ apresentou maior valor de FATSc, seguida pela ‘Cinquentinha’ e sendo mais baixo o valor da ‘Bico de ouro’ (Tabela 2 e Figura 8).

DISCUSSÃO

Experimento de campo

A realização dos estudos em dois diferentes anos agrícolas, com diferentes condições meteorológicas foi importante para expor às plantas a diferentes condições ambientais. Porém, em nenhum dos anos foi verificada deficiência hídrica severa, capaz de causar efeitos significativos nas plantas, principalmente na fase vegetativa do desenvolvimento. Nos últimos cinco anos, com exceção do ano de 2017/2018, em que houve período de deficiência hídrica na região sul e oeste do Rio Grande do Sul, as chuvas foram suficientes para garantir bom desenvolvimento e produtividade da cultura do milho (Emater, 2018).

Quanto à produtividade, verificou-se que, quando cultivadas em condições de irrigação suplementar, as melhoradas, apresentaram boa produtividade, acima da média do RS, que foi 7,3 ton/ha em 2017 (Emater, 2017). As cultivares crioulas também apresentaram boa produtividade, a ‘Bico de ouro’ apresentou produtividade similar a ‘BRS Planalto’, a ‘Cinquentinha’ apresentou menor produtividade, mas também ficando próxima da média do RS. As crioulas não apresentaram aumento da produtividade, em condição irrigada, porque diferente das melhoradas, não passaram por processo de seleção para essa finalidade. No segundo ano, não houve diferença de produtividade entre os manejos de irrigação para todas as cultivares, pois a irrigação suplementar foi realizada quando as plantas estavam próximas do final do ciclo. Porém, verifica-se maiores produtividades neste ano. Isso pode ser explicado por ter sido realizado segunda semeadura e, assim, mais fertilizante foi adicionado no local. A cultivar ‘Bico de ouro’ apresentou elevada produtividade, muito próxima da ‘BRS Planalto’, ou seja, apresentou resposta positiva a adição de insumos. A ‘Bico de ouro’ possui genes com potencial para aumento de produção de grãos, pode apresentar boa resposta ao rendimento, quando receber maior adição de insumos. A ‘Cinquentinha’ pode apresentar genes que conferem tolerância a estresses, mantendo produtividades estáveis nessas condições. A ‘Cinquentinha’ faz parte do grupo de cultivares que, em sistemas produtivos que empregam médio a baixo investimento em insumos, como fertilizantes e produtos químicos, possibilitam obter produtividades rentáveis (Sandri e Tofanelli., 2008).

Experimento da FATS

O número inicial de folhas foi similar nas cultivares, indicando que a seleção das plantas para iniciar a imposição do déficit foi eficiente. O número total de folhas não apresentou grande diferença em relação ao inicial porque as plantas já estavam próximas de atingir o pendoamento, momento em que emitem todas as folhas. O efeito da deficiência hídrica foi verificado na expansão das folhas, por ocasião da emissão da folha bandeira, após a planta completar a emissão do pendão (pendoamento). Verificou-se que para a cultivar ‘As 1573PRO’, as plantas com déficit completaram a emissão de folhas, mas não atingiram o pendoamento, enquanto que a ‘Cinquentinha’ completou a expansão e mais plantas completaram a emissão do pendão (Figura 6). Já a ‘Bico de ouro’ não completou a emissão de folhas, mesmo nas plantas sem déficit. O pendoamento (VT) no tratamento sem déficit foi completado por todas as plantas da ‘AS1573PRO’ e da ‘Cinquentinha’, e somente três plantas de ‘Bico de ouro’ no ano 2016/2017. Já o espigamento (R1), no mesmo ano, foi completado por 90% das plantas da ‘AS1573PRO’ e 100% das plantas da ‘Cinquentinha, enquanto que na ‘Bico de ouro’, nenhuma planta atingiu esse estágio. No tratamento com déficit somente as plantas da cultivar ‘Cinquentinha’ (80%) atingiram o VT e o R1 (20%), chegando a produzir espiga com grãos.

As medidas de trocas gasosas indicam redução das taxas de abertura estomática, fotossíntese e transpiração com o avanço da deficiência hídrica, chegando a serem nulas no final do experimento (Figura 7). Magalhães et al. (2009) realizou medidas de A, gs e E em três linhagens de milho, duas tolerantes (L 31.2.1.2 e L 29.1) e uma sensível (L 2.3.2.1) a deficiência hídrica, submetidas ao déficit hídrico no pré-florescimento, pelo período de sete dias, quando foram realizadas as medidas. Os valores para o tratamento sem déficit foram A = 38,58; 41,18 e 32,26; gs= 0,248; 0,268 e 0,210; e E= 5,496; 9,208 e 9,325 para as cultivares L 31.2.1.2, L 29.1 e L 2.3.2.1, respectivamente. Valores similares aos observados neste trabalho (Figura 7). Os valores de gs observados por Magalhães et al. (2009) reduziram a zero, como observado neste trabalho, já as medidas de A e E, não reduziram a zero, talvez pelo déficit não ser tão severo. A redução nas trocas gasosas, principalmente o fechamento estomático, demonstram ser uma das primeiras respostas das plantas a redução da disponibilidade de água, visando minimizar a perda de água na folha (Larcher, 2004; Gonçalves et al., 2010). A cultivar ‘Cinquentinha’ manteve pequenas taxas por mais dias que as demais cultivares, o que indica que pode ser mais tolerante ao déficit hídrico. Durante períodos de deficiência hídrica, a manutenção do crescimento da planta depende de sua capacidade de conservar a

turgescência das células, através do fenômeno conhecido como ajustamento osmótico (Niu et al., 2003).

A cultivar ‘AS 1573PRO’ manteve a área foliar verde por mais tempo, por ser um híbrido melhorado, que possui o caráter *stay green*, que resulta em retardamento da senescência de folhas e colmos, que é um caráter secundário para a tolerância a deficiência hídrica. Já nas plantas sem déficit, nos dois anos, a área foliar verde das plantas se manteve próximo ao inicial com pequeno aumento para a ‘Cinquentinha’ e ‘AS 1573PRO’, e aumentou na ‘Bico de ouro’, devido a essa cultivar ser de ciclo tardio, assim estava mais atrasada no ciclo, ou seja, não estava com sua área foliar máxima quando se iniciou o período de déficit hídrico.

As maiores estaturas verificadas para as plantas de todas as cultivares no final do experimento, indicam que, mesmo as plantas submetidas ao déficit hídrico continuaram seu crescimento. Porém, as plantas sem déficit, de todas as cultivares, apresentaram estatura maior, indicando que, quando em situação de redução na disponibilidade de água, independente da variabilidade genética, todas as cultivares são afetadas negativamente.

A massa seca final de raízes no tratamento sem déficit foi maior para a cultivar ‘Bico de ouro’, seguida pela ‘AS1573 PRO’ e a menor massa seca inicial foi verificada para a cultivar ‘Cinquentinha’ nos dois anos. No manejo com déficit, a maior massa seca foi verificada na ‘AS 1573PRO’, seguida pela ‘Bico de ouro’ e pela ‘Cinquentinha’. Ou seja, a cultivar ‘AS 1573PRO’ produz mais raízes que as demais sob estresse hídrico. Enquanto que a ‘Cinquentinha’, não respondeu à irrigação.

Os valores de FATSc indicaram que, no primeiro ano, ‘AS 1573PRO’ e ‘Cinquentinha’ são similares quanto a tolerância a deficiência hídrica por fechar antes os estômatos, e no segundo ano ‘AS 1573PRO’ é mais tolerante. No entanto, apesar de fechar depois os estômatos, as medidas de trocas gasosas mostram que a ‘Cinquentinha’, não reduz as taxas de forma total, mantendo uma pequena abertura estomática, permitindo que a transpiração e o processo de fotossíntese continue. O que resultou em duas plantas dessa cultivar, mesmo em condição de déficit hídrico, completarem o estágio de espigamento e produzirem espigas com grãos.

Neste trabalho, os valores de FATSc encontrados são maiores que os encontrados na literatura para outras culturas, porque as plantas estavam em estágio de desenvolvimento mais avançado, com área foliar máxima. a hipótese para os valores de FATSc ser maior, não só se comparado as demais culturas, mas maior até que os valores encontrados para milho em outros trabalhos (Ray e Sinclair, 1998; Muchow e Sinclair, 1991; Ray et al., 2002; Wahbi e

Sinclair, 2007). No estudo de Ray e Sinclair (1998), que encontrou FATSc de 0,31, o déficit hídrico foi imposto 13 dias após a semeadura. Muchow e Sinclair (1991) iniciaram o déficit quando as plantas tinham entre cinco ou seis folhas completamente expandidas. Ray et al. (2002) iniciaram o déficit aos 26 dias após a semeadura, encontrando FATS de 0,31 – 0,38. Wahbi e Sinclair (2007) que encontraram FATS de 0,34, iniciaram o déficit aos 19 dias após a semeadura. No entanto, os valores são parecidos com os encontrados para *Eucalyptus* que variou de 0,7 a 0,9 (Martins et al., 2008). Os valores altos de FATSc em relação aos demais trabalhos, é considerado uma vantagem porque em solo com baixo conteúdo de água, o fechamento antecipado permite que a água se conserve no solo, sendo um critério adaptativo da espécie (Martins et al., 2008).

CONCLUSÕES

Os resultados do experimento de campo permitem verificar que as cultivares crioulas tem resposta de estabilidade de produção, enquanto que nas melhoradas pode variar com condições de déficit hídrico.

Através da metodologia da FATS foi possível verificar que a cultivar híbrida ‘AS 1573PRO’ possui maior tolerância por fechar antes os estômatos, evitando perda de água. A ‘Cinquentinha’, possui no primeiro ano valor de FATS crítica similar a ‘AS 1573PRO’, e menor no segundo ano. A cultivar híbrida ‘AS 1573PRO’, apresentou maior tolerância, fechando antes os estômatos, em períodos de curta duração de deficiência hídrica. A ‘Cinquentinha’ demonstrou ter maior controle estomático, por manter os estômatos abertos e realizar trocas gasosas por maior período em condição de deficiência hídrica, sendo capaz de produzir mesmo em condição de restrição hídrica.

A cultivar ‘Bico de ouro’ apresentou menor valor de FATS crítica nos dois anos, fechando os estômatos, paralisando o desenvolvimento, tanto em condição de curta como longa deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Argenta G, Silva PRF, Sangoi L. (2001) Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. Ci Rur. 2001;1075:1084-31.

- Argenta G, Sangoi L, Silva PRF, Rampazzo C, Gracietti LC, Strieder ML, Forsthofer EL, Suhre E. Análise econômica de estratégias de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes. *Sci Agr.* 2003;27:34- 4.
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Comiran F, Bergonci JI, Müller AG, França S, Santos AO, Radin B, Bianchi CMM, Pereira PG. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. *Pesq Agropec Bras.* 2006;243:249-41.
- Carlesso R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. *Ci Rur.* 1995;183:188-25.
- Carpentieri-Pipolo V, Souza A, Silva DA, Barreto TP, Garbuglio DD, Ferreira JM. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. *Acta Sci Agron.* 2010;228:233-32.
- CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina; 2004. Porto Alegre: SBCS/NRS.
- EMATER. Rio Grande do Sul/Ascar; 2018. Disponível em:
<<http://www.emater.tche.br/site/servicos/informacoes-agropecuarias.php#conjuntural>>. Acessado em 20 de abril de 2018.
- Fancelli AL, Dourado-Neto D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- Forsthofer E.L, Silva PRF, Argenta G, Strieder ML, Suhre E, Rambo L. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. *Ci Rur.* 2004;1341:1348-34.
- Gonçalves EG, Lorenzi H. Morfologia Vegetal – Organografia e Dicionário Ilustrado de Morfologia das Plantas Vasculares. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2011.
- Hoagland DR, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soils. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- Jensen SD, Cavalieri AJ. Drought tolerance in USE maize. *Agricultural Water Management.* 1983;223:236-7.
- Kaufmann MP, Reiniger LRS, Wizniewsky JG. A conservação integrada da agrobiodiversidade crioula. *Rev Bras Agroec.* 2018;36:43-13.
- Kuinchtner A, Buriol GA. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disc Sci.* 2001;171:182-2.
- Lago I, Streck NA, Bisognin DA, Souza AT, Silva MR. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. *Pesq Agropec Bras.* 2011;1415:1423-46.

- Lago I, Streck NA, Zanon AJ, Hanauer JG, Bisognin DA, Silva MR. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. R Bras Ci Solo. 2012;745:754-36.
- Larcher W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Rima, 2004. 531p.
- Magalhães PC, Souza TC, Albuquerque PEP, Karam D, Magalhães MD, Cantão FRO. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. Rev Bras Mi Sor. 2009;223:232-8.
- Muchow RC, Sinclair TR. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. Agron J. 1991;1052:1059-83.
- Pinheiro DG, Streck NA, Richter GL, Langner JA, Jos Winck JEM, Uhlmann LO, Zanon AJ. Limite crítico de água no solo para transpiração e crescimento foliar em mandioca em dois períodos com deficiência hídrica. R Bras Ci Solo. 2014;1740:1749-38.
- Martins FB, Streck NA, Silva JC, Morais WW, Susin F, Navros KMC, Vivian MA. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. R Bras Ci Solo. 2008;1297:1306-32.
- Ray JD, Sinclair TR. (1997) Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. Crop Sci. 37 803-807.
- Ray JD, Gesch RW, Sinclair TR, Allen LH. The effect of vapor pressure deficit on maize transpiration response to a drying soil. Pl Soi. 2002;113:121-239.
- Ritchie SW, Hanway JJ, Benson GO, How a corn plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 21p. (Special Report, 48).
- Rodrigues RR, Pizetta SC, Reis EF, Ribeiro WR, Garcia GO. Fração de água transpirável no solo no desenvolvimento do cafeeiro conilon. Cof Sci. 2015;337:345-10.
- Streck EV, Kampf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P. (2008) Solos do Rio Grande do Sul. EMATER/RS; UFRGS. p.126.
- Sangoi L. (1990) Comportamento de variedades e híbridos de milho em duas densidades de semeadura e dois níveis de fertilizantes. Pesquisa Agropecuária Brasileira 25 1715-1725.
- Sangoi L, Ernani PR, Silva PRF Horn D, Schmitt A, Schweitzer C, Motter M. (2006) Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. Ciência Rural 36 747-755.
- Sandri C, Tofaneli MBD. (2008) Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. Pesquisa Agropecuária Tropical, 38, 59-61.

- Santos RF, Carlesso R. (1998) Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2 287-294.
- Sinclair TR, Ludlow MM. (1986) Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Aust. J. Plant Physiol* 13 319-340.
- Tollenaar M, Lee E. A. (2006). Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica* 51 399-408.
- Wahbi A, Sinclair TR. (2007) Transpiration response of *Arabidopsis*, maize, and soybean to drying of artificial and mineral soil. *Environmental and Experimental Botany* 59 188-192.

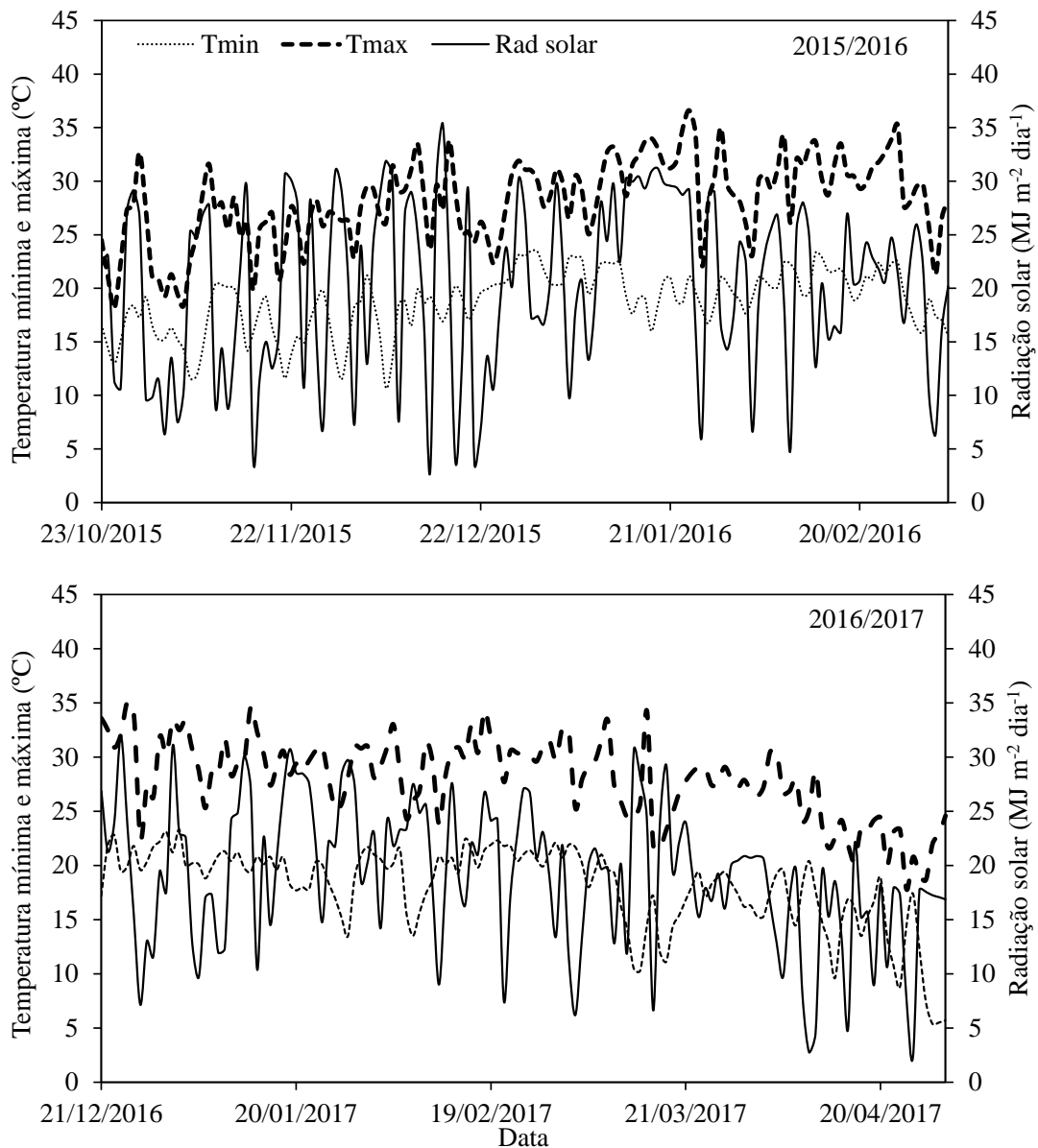


Figura 1: Temperaturas mínima (Tmin) e máxima (Tmax) diárias do ar (°C) e radiação solar global diária (MJ m² dia⁻¹), durante o ciclo de desenvolvimento das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘Cinquentinha’ em dois anos agrícolas 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’), nas condições de Santa Maria, RS.

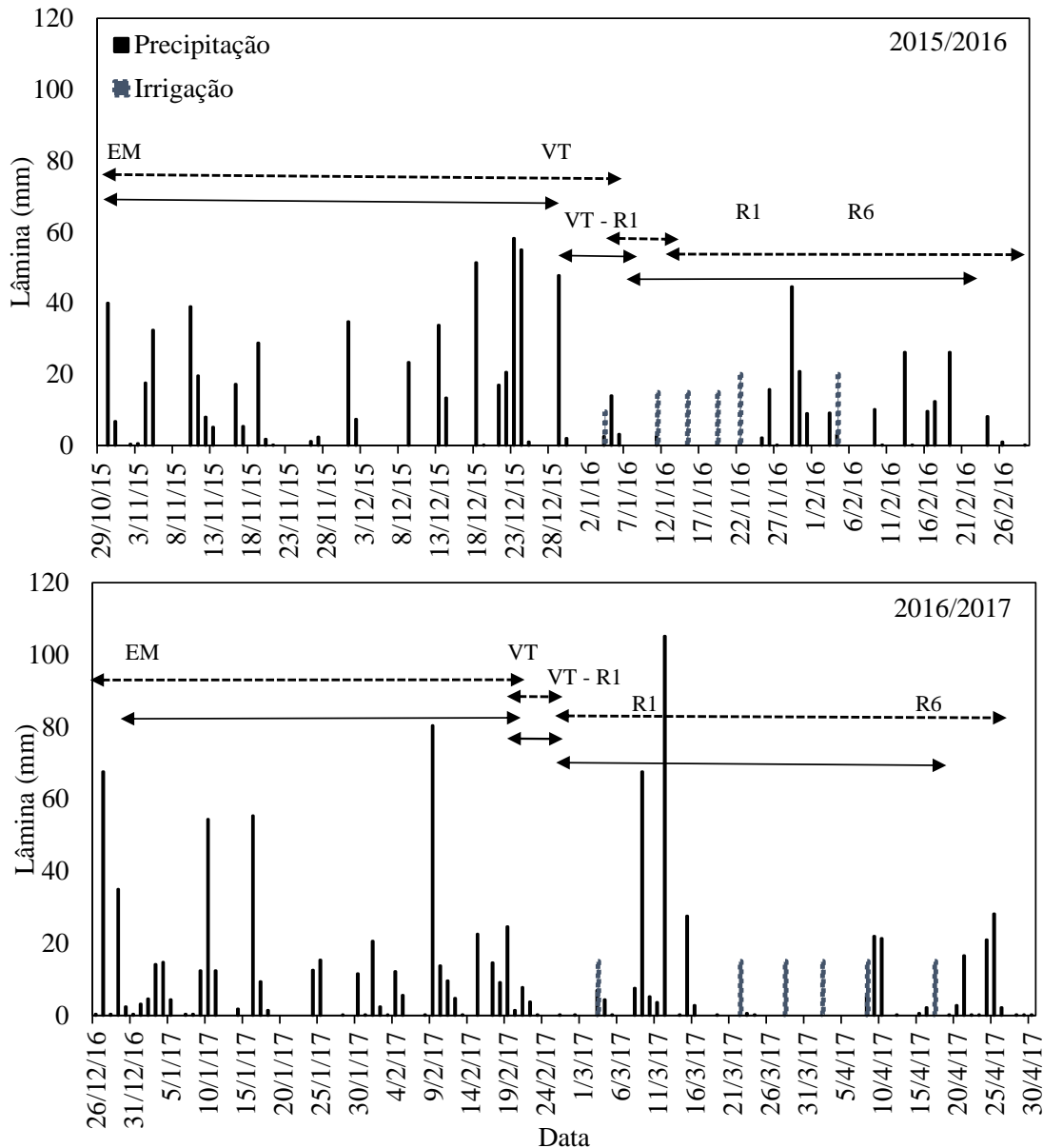


Figura 1: Variação diária de precipitação pluvial (mm) e irrigação (mm) para Santa Maria, RS, durante o ciclo de desenvolvimento das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘BRS Planalto’ ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ nos anos agrícolas 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’). As setas com linha tracejada indicam a duração média em dias das fases de desenvolvimento entre Emergência - Pendoamento (EM-VT), Pendoamento – Espigamento (VT-R1) e Espigamento – Maturidade fisiológica (R1-R6) para a cultivar ‘Bico de ouro’ de ciclo tardio, e as setas com linhas cheias para as cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘BRS Planalto’ e ‘Cinquentinha’, todas de ciclo precoce.

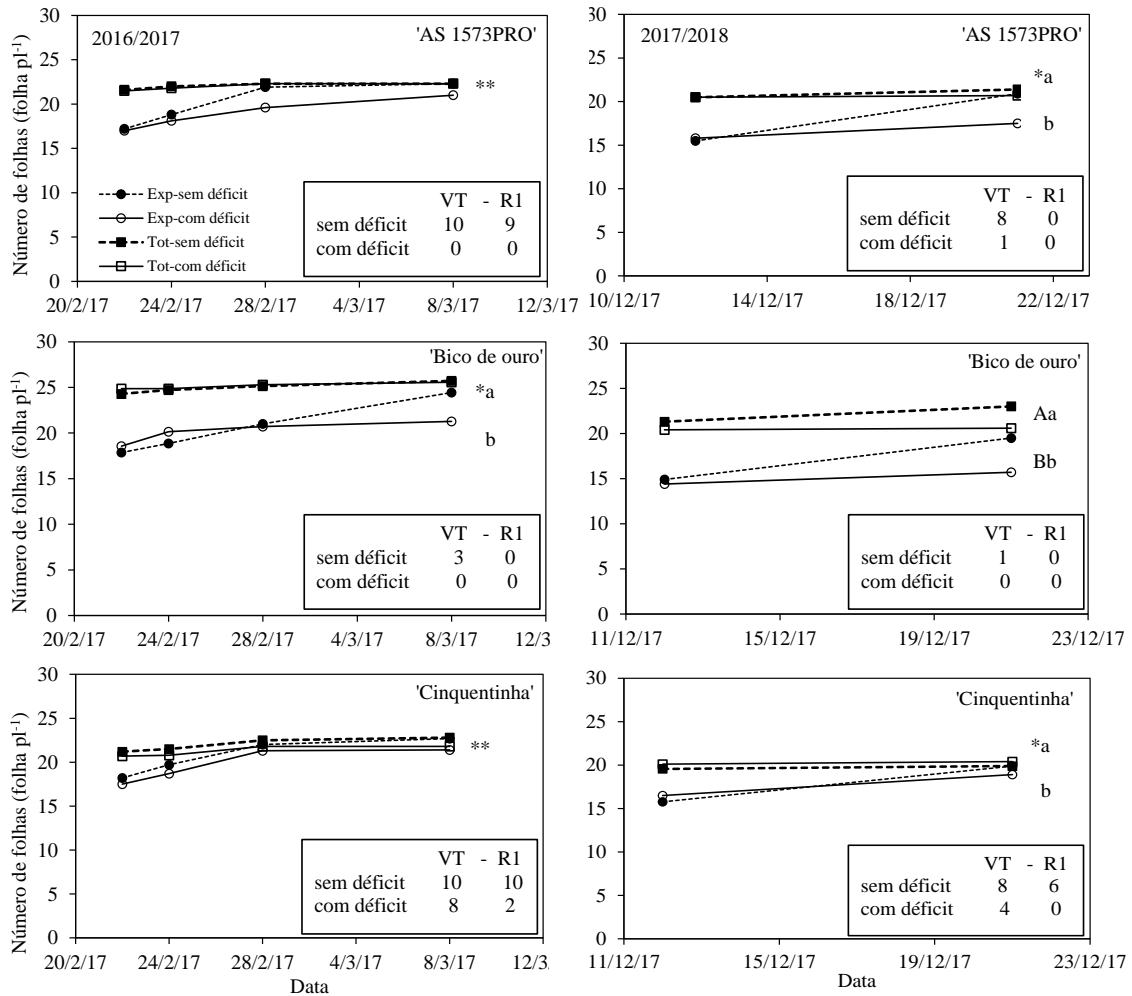


Figura 2: Evolução de número de folhas (folha pl^{-1}) expandidas (Exp) e totais (Tot) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Número de plantas que atingiram o pendoamento (VT) e o espigamento (R1) é apresentado nas inserções de cada painel. Letras maiúsculas nos painéis indicam diferença estatística entre o número de folhas expandidas em relação ao total no experimento com déficit, e minúscula em relação ao experimento com déficit.

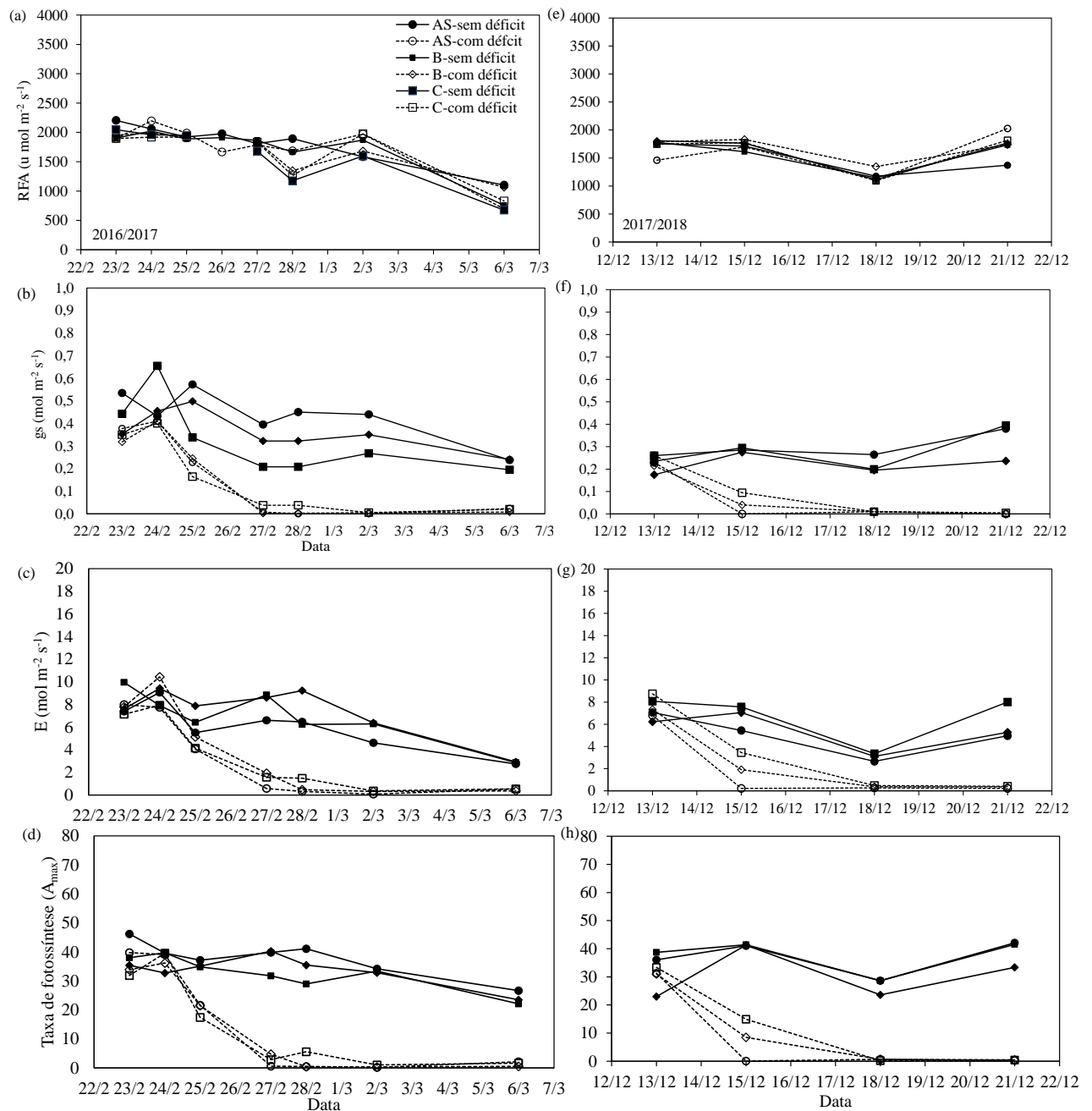


Figura 3: Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (A, B), Condutância estomática (g_s) (C, D), transpiração (E) (E, F) e taxa máxima de fotossíntese (A) (G, H) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’ (AS- sem déficit e AS- com déficit), ‘Bico de ouro’ (B- sem déficit e B- com déficit) e ‘Cinquentinha’ (C- sem déficit e C- com déficit), durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS.

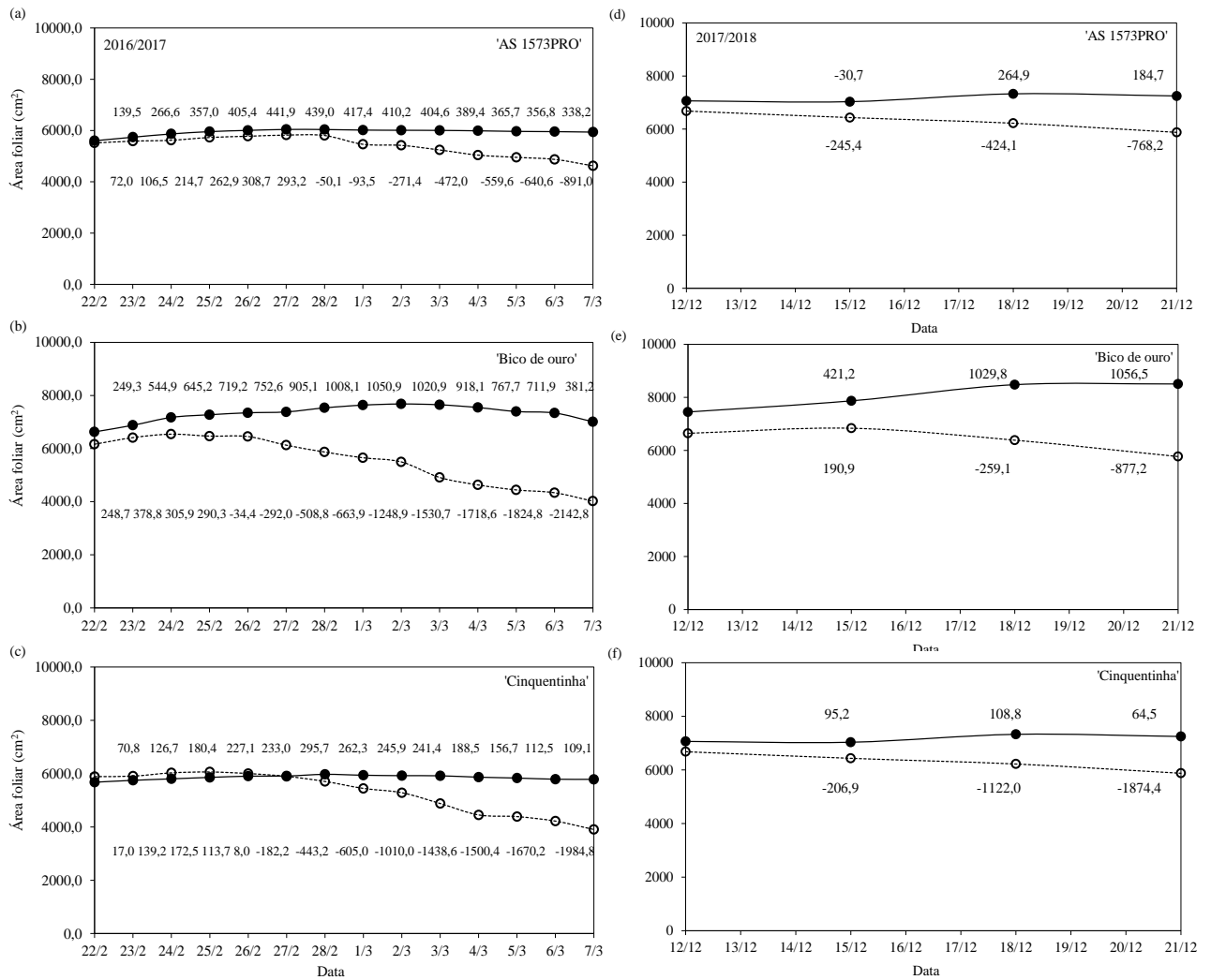


Figura 4: Área foliar verde ($\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’, medidas durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Valores positivos indicam crescimento foliar em centímetros, valores negativos indicam senescência foliar em centímetros.

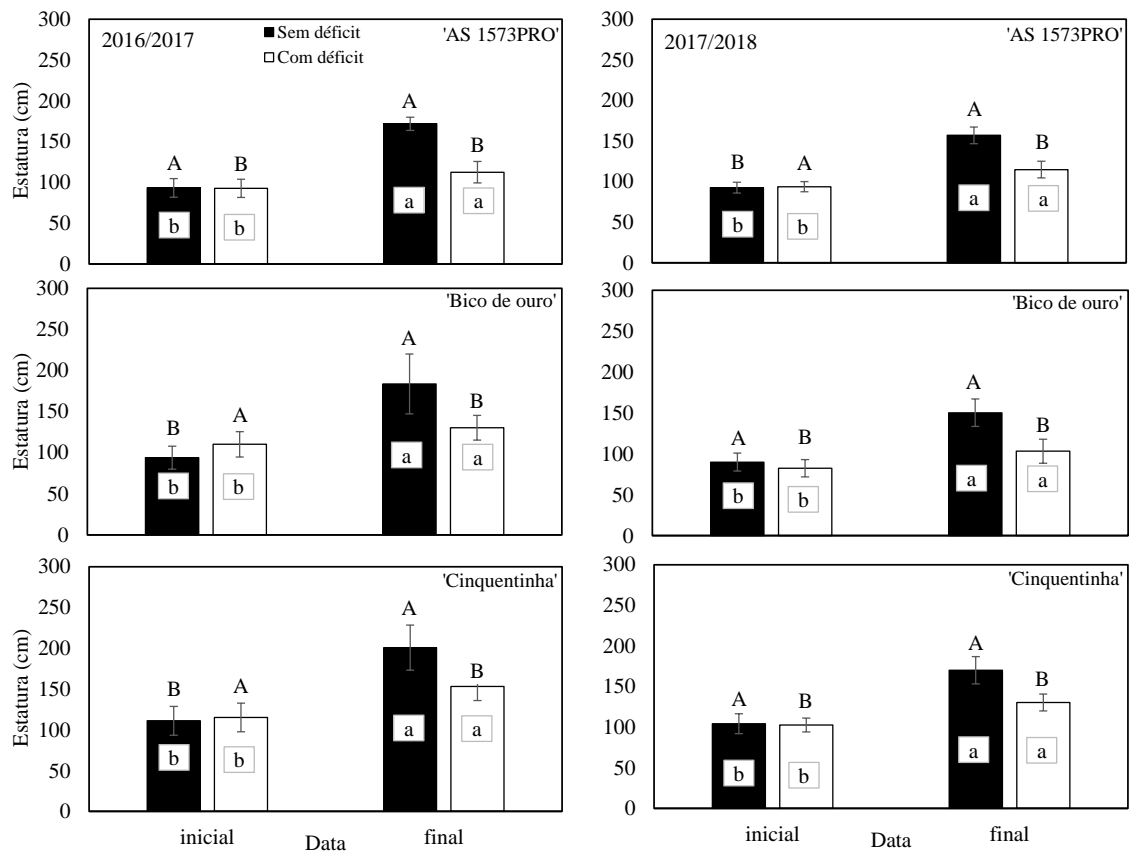


Figura 5: Estatura de planta (cm) das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ medidas no primeiro dia de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 (2017/2018) e no último dia do período 07/03/2017 (2016/2017) e 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Letras minúsculas diferenciam a estatura inicial e final de cada cultivar em cada tratamento (sem déficit e com déficit). Letras maiúsculas diferenciam a estatura de cada cultivar entre os tratamentos no início e final do período.

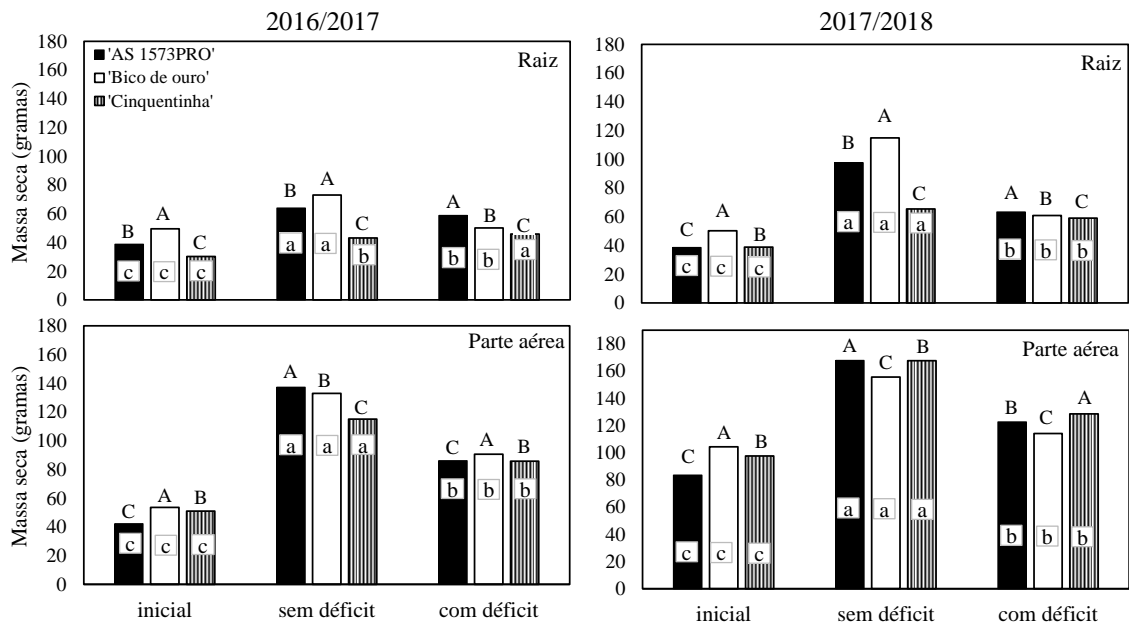


Figura 6: Massa seca (g) das plantas das cultivares de milho ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ coletadas no início e no final do período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS. Letras minúsculas diferenciam massa seca inicial, sem déficit e com déficit de raízes e parte aérea (folhas, colmo, pendão e espiga) de cada cultivar. Letras maiúsculas diferenciam a massa seca de raízes e parte aérea (folhas, colmo, pendão e espiga) entre as cultivares no início dos experimentos e nos tratamentos sem déficit e com déficit.

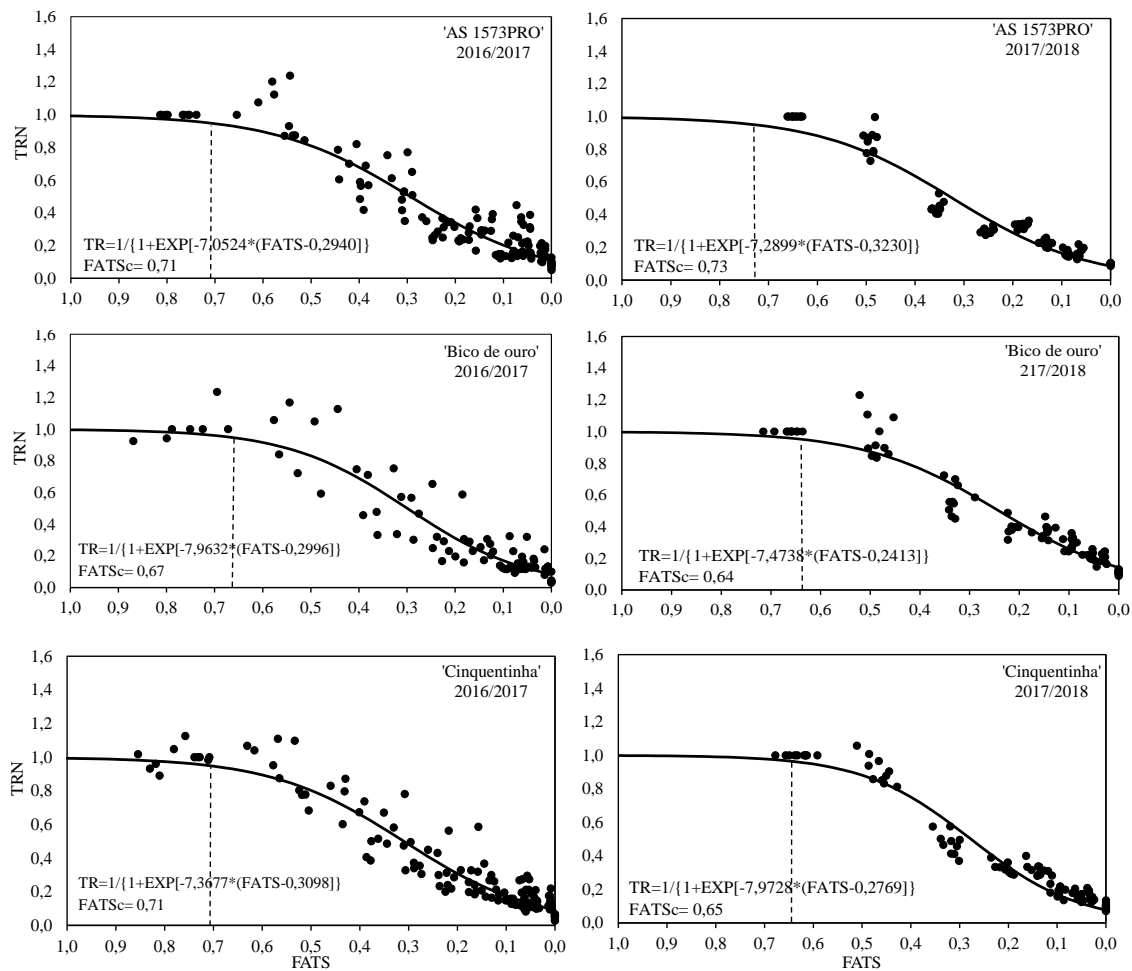


Figura 7: Transpiração relativa normalizada (TRN) em função da fração de água transpirável do solo (FATS) das cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS.

Tabela 1: Produtividade (ton ha⁻¹) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ no ano agrícola 2015/2016 (semeadura em 23/10/2015) e 2016/2017 (semeadura em 21/12/2016 para ‘Bico de ouro’ e 28/12/2016 ‘AS 1573PRO’), no sistema de manejo irrigado e não irrigado nas condições de Santa Maria, RS.

Cultivar					
	‘Cinquentinha’	‘Bico de ouro’	‘BRS Planalto’	‘AS 1573PRO’	Média
Manejo	2015/2016				
Irrigado	6,5 ^{ns}	7,5 ^{ns}	9,3 a	10,9 a	8,5
Não irrigado	6,0	7,8	7,9 b	9,0 b	7,6
Média	6,2	7,7	8,6	9,9	
CV (%)					
	2016/2017				
Irrigado	6,5 ^{ns}	10,6 ^{ns}	10,9 ^{ns}	12,7 ^{ns}	10,1
Não irrigado	6,9	9,5	10,1	12,1	9,6
Média	6,7	10,0	10,5	12,4	
CV (%)					

* Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2: Transpiração relativa normalizada (TRN) em função da fração de água transpirável do solo (FATS) das cultivares ‘AS 1573PRO’, ‘Bico de ouro’ e ‘Cinquentinha’ durante o período de duração do déficit hídrico, dias 22/02/2017 a 07/03/2017 (2016/2017) e 12/12/2017 a 21/12/2017 (2017/2018) nas condições de Santa Maria, RS.

Cultivar	FATS crítica para TRN		Média
	2016/2017	2017/2018	
AS 1573PRO	0,71 a	0,73 a	0,72 a
Bico de ouro	0,67 b	0,64 c	0,65 c
Cinquentinha	0,71 a	0,64 b	0,68 b
Média	0,70 a	0,67 b	

* Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

6. DISCUSSÃO GERAL

No cenário de aumento da população associado às possíveis mudanças no clima, não somente o aumento da necessidade de produção de alimentos preocupa, mas também a necessidade de preservar a biodiversidade frente aos cenários de mudança. Com o aumento da ocorrência de eventos extremos, culturas que não possuem capacidade de adaptação podem ser negativamente afetadas, produzindo pouco ou deixando de produzir. O milho é uma cultura conhecida por possuir ampla capacidade de adaptação, sendo cultivado em diversos ambientes. Sendo também uma das culturas que possui cultivares que são cultivadas e conservadas pelos produtores, que possuem de estreita variabilidade genética como os híbridos, até as maiores variabilidades genéticas, como as crioulas.

Devido a sua ampla utilização na alimentação humana, animal e na indústria, o cultivo do milho desempenha papel muito importante para muitos agricultores e muitas comunidades. Em alguns países africanos o milho é a cultura mais importante como fonte de alimento. A cultura do milho possui alta dependência da disponibilidade de água, pois se ocorrer estresse hídrico na fase reprodutiva, próximo à floração, toda a produção pode ser comprometida. Devido a isso, muitos estudos científicos já foram realizados buscando tornar as cultivares de milho mais tolerantes à deficiência hídrica. Estudos realizados utilizando metodologia tradicional até transgenia. No entanto, apesar dos esforços, muitas vezes somente melhorar uma cultivar para tolerar a deficiência hídrica não há torna a melhor, ou a que será cultivada pelos produtores. O melhoramento precisa estar alinhado com a realidade, com a cultura de cada local, as pessoas e seus costumes precisam fazer parte deste processo.

Conhecer a resposta de cultivares crioulas locais quanto a deficiência hídrica pode ser um passo importante na seleção de cultivares tolerantes a deficiência hídrica, como também para serem usadas em ambiente com maior disponibilidade de insumos quando se busca aumento da produtividade. Como foi verificado na produtividade da 'Bico de ouro', a qual aumentou sua produção quando cultivada em ambiente com maior disponibilidade de insumos.

As cultivares melhoradas, principalmente a híbrida, também podem ser capazes de produzir em ambiente com menor disponibilidade de água. A premissa de que também são melhoradas para tolerar a ambientes com estresse pode ser verdadeira. Como foi verificado em experimento de campo com cultivares melhoradas, mantiveram a produtividade em ambiente com menor disponibilidade de água, sendo maior que a das crioulas. O que já era esperado, pois elas passaram por processo de Melhoramento Genético para aumento da

produtividade. A capacidade de manutenção da produtividade pode ser devido ao processo de seleção ocorrer em condições estressantes.

Porém, algumas cultivares crioulas são capazes de produzir mesmo em ambiente com restrição de água ou com pouca água. Fazendo valer também a premissa de que mesmo com poucos investimentos em insumos as crioulas são capazes de garantir produção, e que mesmo produzindo pouco são rentáveis porque não necessitam de muito investimento em insumos, pois quando se trata de ambiente com menor disponibilidade de insumos as crioulas mantêm produtividade. Como verificado na ‘Cinquentinha’, em que mesmo com estreita restrição de água duas plantas produziram espigas, ou seja, mesmo que pouco, mas teria alguma produção quando cultivada em ambiente com estresse (Figura 13).



Figura 1 - Imagem das plantas de milho para ilustrar o efeito da deficiência hídrica, comparando as plantas da cultivares com e sem déficit hídrico. Cultivar ‘AS 1573PRO’ (a), ‘Cinquentinha (b) e ‘Bico de ouro’ (c) fotografadas no último dia do período de déficit hídrico 07/03/2017 do ano agrícola 2016/2017. Santa Maria – RS.

7. CONCLUSÕES

Muitos esforços, em nível de pesquisa, já foram realizados em todo o mundo para inserir tolerância à deficiência hídrica nas cultivares utilizadas pelos agricultores, os quais empregaram desde a metodologia convencional de Melhoramento Genético até a moderna biotecnologia. Porém, melhorar as cultivares somente para tolerância não basta, estudos têm demonstrado que a realidade local, assim como as pessoas que fazem uso desses materiais genéticos precisam fazer parte do processo.

Neste estudo, através do experimento de campo foi possível verificar que cultivares melhoradas de milho são capazes de manter a produtividade em ambiente de restrição de água, assim como de aumentá-la quando mais água é disponibilizada. Da mesma maneira, as cultivares crioulas de milho também são capazes de manter a produtividade em condição de falta de água, porém não aumentam sua produção quando mais água é fornecida, por possuírem menor produtividade potencial, podem produzir a mesma quantidade sem a necessidade de adicionar mais água.

Através da metodologia da 'FATS' foi possível verificar a tolerância à deficiência hídrica das cultivares de milho na fase de maior sensibilidade, que é próximo ao pendoamento. A cultivar híbrida 'AS 1573PRO', em um dos anos agrícolas estudados apresentou tolerância similar à crioula 'Cinquentinha', mostrando-se superior em um outro ano. Por outro lado, a 'Cinquentinha' demonstrou ter maior controle estomático, sendo capaz de produzir mesmo em condição de restrição hídrica. E???

8. REFERÊNCIAS

- ABIMILHO - Associação Brasileira das Indústrias do Milho. **O cereal que enriquece a alimentação humana**. 2018. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- AGROESTE. Online. Disponível na Internet:< <http://www.agroeste.com.br/hibridos-de-milho/1/safrinha-2015/5/as-1573>>. Acesso em: 01 de jul. 2015.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed) **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- ARGENTA, G. et al. Análise econômica de estratégias de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes. **Sentia Agrária**, v.4, p.27-34, 2003.
- AUSTRALIAN Government. The Biology of Zea mays L. ssp. mays (maize or corn). Department of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator, 01-80, 2008.
- BARCHET, S. F.; BOHN, L.; Ribeiro, T. N. P. V.; Vielmo, G. R. R. Câmbio de sementes e seus guardiões: experiências de conservação da agrobiodiversidade em dois municípios do Rio Grande do Sul. **Revista Agriculturas** - v. 4 - n. 3, 2007.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.4, p. 243-249. 2006.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.
- BERNINI, C S et al. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênes interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, p. 39-52, 2016.
- BESPALHOK, F.J.C; GUERRA, E.P; OLIVEIRA, R.A. Capítulo 4: Sistemas Reprodutivos de Plantas Cultivadas. 2016. Disponível em: <http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/paginas/livro/capitulo%204.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- BERLATO, M.A. et al. Associação entre El Niño oscilação Sul e a produtividade de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.423-432, 2005.
- BRIEGER, F. G. et al. Races of maize in Brazil and other eastern south american countries. Publication 593. **National Academy of Sciences** – National Reseach Council, Washington, D. C. 1958. 283 p.

CAIRNS, J. E. et al. Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v.53, p.1335-1346, 2013.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, p.183-188, 1995.

CARLESSO, R. & SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.27-33, 1999.

CASTRO, A. C., FONSECA, M. G. D. **A dinâmica agroindustrial do Centro-Oeste**. Brasília: IPEA, 1995.

COCCO, D.T. **Descritores morfoagronômicos em cultivares crioulas de milho conservadas on farm em Imabara - RS**. 2014. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5 - Safra 2017/18, n.7 -Sétimo levantamento, abril 2018.

CONAGIN, A.; A.A.B. JUNQUEIRA, 1966. O milho no Brasil. Em Cultura e Adubação do Milho. Páginas 21-77. Editora Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo. Brasil.

COSTA, J. D. Polenta: marcador étnico na reprodução da italianidade. 2008. Disponível em:< <https://www.slowfoodbrasil.com/textos/alimentacao-e-cultura/209-polenta-marcador-etnico-na-reproducao-da-italianidade>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

José Carlos Cruz, Paulo César Magalhães Israel Alexandre Pereira Filho José Aloísio Alves Moreira. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Embrapa Informação Tecnológica Brasília, DF 2011. 16p.

DOEBLEY, J. The genetics of maize evolution. **Annual Review of Genetics**, v.38, p. 37-59, 2004.

DUBREUIL, P. et al, The origin of maize (*Zea mays* L.) in Europe as evidenced by microsatellite diversity. **Maydica** (in press), 2006.

DUTRA, O. **Importação de sementes de olerícolas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Setor de Importação de Sementes, 6,7 e 8 de junho, 2005.

EMATER. Rio Grande do Sul/Ascar. **Relatório de atividades 2012**. Porto Alegre: Emater/RS - Ascar, 2012. 131p. Online. Disponível em: < <http://www.emater.tche.br/site/br/arquivos/sobre/Relatorio%20de%20Atividades-2012.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2018.

EMATER. Rio Grande do Sul/Ascar. Disponível em: < <http://www.emater.tche.br/site/servicos/informacoes-agropecuarias.php#conjuntural>>. Acesso em: 01 mai. 2018.

EMYGDIO, B.M; PACHECO; C. A. P.; RIBEIRO, P. HE; GUIMARÃES; P. E.O.; MEIRELLES; A. F.; GAMA, E. E.G.; TEIXEIRA, M; C. C.; MACHADO, A. T.; FERRÃO, R. G.; GERAGE, A. C.; DENUCCI, S.; Arce, H. **Desempenho das cultivares de milho BRS Planalto e BRS Missões nas safras 2003/04 e 2004/05**. EMBRAPA, Passo Fundo, 2006. (Circular Técnica, 178)

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FAO. (2007). FAOSTAT: FAO Statistical Data bases. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

FEPAGRO- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. NOTA TÉCNICA Nº05 (23/01/2012) ESTUDO COMPARATIVO DAS ESTIAGENS: 2004/2005 E 2011/2012 - Centro Estadual de meteorologia. Disponível em:<http://www.cemet.rs.gov.br/upload/20120123163417nt_05_cemetr.pdf>. Acesso em 20 abr. 2018.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997.

Roberto Fritsche-Neto e Gustavo Vitti Môro escolha do cultivar e determinante e deve considerar toda informacao disponível. **visão agrícola nº13 jul | dez 2015**.

FRUET, S. F. T. **Estudo de descritores morfoagronômicos em cinco cultivares crioulas de milho conservadas *in situ on farm* em Imbara - RS**. 2014. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GARCIA, J. C. et al. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHAES, P. C. Ed.). *A cultura do milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 1, p. 21-46.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; FONSECA, I. C. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.700–707, 2014.

GONÇALVES, E. G.; LORENZI, H. **Morfologia Vegetal – Organografia e Dicionário Ilustrado de Morfologia das Plantas Vasculares**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Online. 2006. Disponível na Internet:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201308c_omentarios.pdf>. Acesso em 20 abr. 2018.

KATO, T. A. et al. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad. México, D.F, 2009. 116p.

Marielen Priscila Kaufmann¹ Lia Rejane Silveira Reiniger² José Geraldo Wizniewsky³ Marlove Fátima Brião Muniz. RESGATE E CONSERVAÇÃO DA AGROBIODIVERSIDADE CRIOLA EM IBARAMA-RS: ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO. Extensão Rural, DEAER – CCR – UFSM, Santa Maria, v.23, n.4, out./dez. 2016.

KELLING, C. R S. et al. Transpiração e crescimento foliar de crisântemo em função da fração de água transpirável no substrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.735-744, 2015.

KRUG, C. A. O milho no mundo. IN: CONAGIN, A. O milho no Brasil. Em Cultura e Adubação do Milho. Páginas 11-79. Editor Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo. Brasil. 1966. 541p.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. & SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1415-1423, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

Le Clerc, V.; Bazante, F.; Baril, C.; Guiard, J.; Zhang, D. Assessing temporal changes in genetic diversity of maize varieties using microsatellite markers. *Theor Appl Genet*, v.110, p.294–302, 2005.

LISITA, F.O. Agricultura familiar. 2009. Disponível em:< http://www.embrapa.gov.br/linhas_de_acao/desenvolvimento/agri_familiar/index_html/mostra_documento>. Acesso em 20 abr. 2018.

MACHADO, A. T. et al. ARCANJO, J. N.; MACHADO, C. T. T.; NASS, L. L.; BETTERO, F. C. R. Mejoramiento participativo em maiz: su contribución em el empoderamiento comunitario em el Municipio de Muqui, Brasil. *Agronomia Mesoamericana*, Costa Rica, v. 17, p. 393-405, 2006.

MACHADO, A. T.; SANTILLI, J.; MAGALHÃES, R. A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais e jurídicas. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008. (Texto para discussão, 34).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. L. M.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. p.65. (Circular Técnica n. 22).

MARTINS, F. B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.1297-1306, 2008.

MATSUOKA, Y. et al. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 99, p.6080–6084, 2002.

MATZENAUER, R. estimativa do consumo relativo de água para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, p. 35-43, 2002.

MATZENAUER, R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T.; RADIN, B.; ANJOS, C. S. dos. Épocas de semeadura para milho e soja visando à redução de riscos por deficiência hídrica, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.191-200, 2005.

MEIRELLES, L. R.; RUPP, L. C. D (coord.). Biodiversidade: passado, presente e futuro da humanidade. Brasília: MMA, 2006.

MERCER, K.; MATINEZ-VASQUEZ, A.; PERALES, H. R. Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. *Evolutionary Applications* v.1, p.489–500, 2008.

MERCER, K., PERALES, H. R.; WAINWRIGHT, J. D. Climate change and the transgenic adaptation strategy: Smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico. *Global Environmental Change*, v.22, p, 495–504, 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p

MORRIS, M.; MEKURIA, M.; GERPACIO, R. Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: Evenson, R. E.; Gullin, D. Crop variety improvement and its effect on productivity: The impact of international agricultural research. Wallingford, UK, Cap 7, p.135–158, 2003.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 995-1002, 2005.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. *Estudos avançados*, v,29, p.183-207, 2015.

ORTIZ, R., et al. Climate change: Can wheat beat the heat? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.126, p.46-58, 2008..

PAES, M.C.D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. Circular Técnica 75, Sete Lagoas, MG, 2006. 6p.

PATERNIANI, E. Diversidade genética e raças de milho no Brasil. In: SOARES, A.C., MACHADO, A.T., SILVA, B.M. de, WEID, J.M. von der. (Ed.) Milho crioulo conservação e uso da biodiversidade. Rio de Janeiro-RJ: AS-PTA, 1998. p.28-31.

Paterniani E, Nass LL.; Santos MX (2000) O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: Uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: Udry CW and Duarte W (eds) Uma História Brasileira do Milho: O Valor dos Recursos Genéticos. Paralelo 15, Brasília, pp 11-43.

Pereira Filho, Israel Alexandre. Mercado de sementes de milho no Brasil: safra 2016/2017 / Israel Alexandre Pereira Filho, Emerson Borghi. - Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 28 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518- 4277; 202).

PERONI, N., MARTINS, P; S. Influência da dinâmica agrícola itinerante na geração de diversidade de etnovarietades cultivadas vegetativamente, **Interciência**, v.25, p.22-29, 2000.

PERRY, L.; Sandweiss, D. H.; Piperno, D. R.; Rademaker, K.; Malpass, M.A.; Umire, A.; Vera, P. de la. Early maize agriculture and interzonal interaction in southern Peru. **Nature**, v. 440, p 76-79, 2006.

PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos. 3ª edição. Pelotas: Editora rua Pelotas, 2012. 573p.

Pinheiro, D. G. et al. Limite crítico de água no solo para transpiração e crescimento foliar em mandioca em dois períodos com deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1740-1749, 2014

PRASANNA, B. M. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. **Journal Bioscience**, v.37, p.843–855, 2010.

RAY, J.D.; SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, v.37, p.803-807, 1997.

REBOLLAR, P. M. A continuidade das práticas de manejo de milho crioulo no Vale do Capivari/SC. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. 115p.

REBOURG, C., M. et al. Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. **Theoretical and Applied Genetics**, v.106, p.895-903, 2003.

REINIGER, L. et al. Ações de extensão, ensino e pesquisa relacionadas às cultivares de milho crioulo realizadas pela Associação dos Guardiões de Sementes Crioulas de Ibarama-RS, EMATER e UFSM. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, dez. 2012.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1993. 21p. (Special Report, 48).

RODRIGUES, R. R. et al. Fração de água transpirável no solo no do cafeeiro conilon. **Coffee Science**, v. 10, p. 337-345, 2015.

SANDRI, C.; TOFANELLI, M. B. D. (2008). Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 38, 59-61.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. Ecofisiologia e estádios fisiológicos. In: FILHO, J.A.W.; ELIAS, H.T. A cultura do milho em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2010. Cap.2, p.47-114.

SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; REIS, H. P. O. dos; Aplicação de boro e reposição de água no solo na cultura do milho forrageiro. **Revista Agrogeoambiental** - v. 6, n. 2 - Agosto 2014.

SANTOS, R.F. & CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.287-294, 1998.

SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology journal**, v.13, p.319-340, 1986.

SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree Physiology**, 25:1469-1472, 2005.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2013. 848p.

TOLLENAAR, M. & LEE, E. A. Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. **Maydica**, v.51, p.399-408, 2006.

USDA [United State Department of Agriculture]. Disponível em: <<http://www.usdabrazil.org.br/home/>>. Acesso em: 01 de maio de 2018.

VAN LIER, Q. Ong.de . Field capacity, a valid upper limit of crop available water?. **AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT** , v. 193, p. 214-220, 2017.

VIANA, A. A. N. **A Proteção de Cultivares no Contexto da Ordem Econômica Mundial**. In: Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Proteção de Cultivares no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS. 2011.

VOGT, G.A.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; Estratégias de conservação de sementes de variedades locais ("crioulas") de milho e feijão em Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.24, n.3, 2011.

ZAGO, N. J. Caracterização sócio-cultural de agricultores e avaliação de suas populações locais de milho "crioulo" no Alto Vale do Itajaí. Dissertação (mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.