

Ocorrência de Micronúcleos e Inferência da Instabilidade Genética em Acessos de Trigos Sintéticos



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Trigo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
88**

Ocorrência de Micronúcleos e
Inferência da Instabilidade Genética em
Acessos de Trigos Sintéticos

*Cláudia Toniazzo
Sandra Patussi Brammer
Adeliano Cargin
Paula Wiethölter*

Embrapa Trigo
Passo Fundo, RS
2018

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Trigo
Rodovia BR 285, Km 294
Caixa Postal 3081
Telefone: (54) 3316-5800
Fax: (54) 3316-5802
99050-970 Passo Fundo, RS
<https://www.embrapa.br/fale-conosco>

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Leila Maria Costamilan

Membros
Alberto Luiz Marsaro Júnior, Alfredo do Nascimento Junior, Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago, Sandra Maria Mansur Scagliusi, Tammy Aparecida Manabe Kiihl, Vladirene Macedo Vieira

Normalização bibliográfica
Maria Regina Martins

Tratamento das ilustrações
Fátima Maria De Marchi

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Fátima Maria De Marchi

Foto da capa
Sandra Patussi Brammer

1ª edição
versão on-line (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Trigo

Ocorrência de micronúcleos e inferência da instabilidade genética em acessos de trigos sintéticos. / Cláudia Toniazzo... [et al.] – Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2018.
18p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento online / Embrapa Trigo, ISSN 1677-8901 ; 88).

1. Trigo - Espécies afins. 2. Trigo - *Aegilops tauschii*. I. Toniazzo, Cláudia. II. Série.

CDD: 633.114

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	10
Conclusões.....	15
Agradecimentos.....	15
Referências	16

Ocorrência de Micronúcleos e Inferência da Instabilidade Genética em Acessos de Trigos Sintéticos

Cláudia Toniazzo¹

Sandra Patussi Brammer²

Adeliano Cargini³

Paula Wiethölter⁴

Resumo – Trigo sintético, resultado do cruzamento entre uma espécie tetraploide (genomas AABB) e outra diploide (genoma DD), representa excelente germoplasma para introgressão de genes no melhoramento genético de *Triticum aestivum* (genomas AABBDD). Entretanto, cruzamentos interespecíficos podem acarretar instabilidades genéticas, como a incidência de micronúcleos. Este trabalho objetivou verificar a ocorrência de micronúcleos e inferir sobre a instabilidade genética de 67 acessos de trigos sintéticos. Foram coletadas espigas na fase anterior à antese, fixadas em Carnoy por 24 h, transferidas para álcool 70% e armazenadas a -20 °C. Lâminas citológicas foram preparadas com carmim acético 1%, sendo analisadas 100, com três repetições por acesso. No presente estudo, todos os acessos apresentaram micronúcleos. Desses, 15 foram considerados estáveis (porcentagens acima de 90% de células viáveis) e 52 acessos com porcentagens entre 46% e 89% foram considerados citogeneticamente inviáveis e instáveis. O acesso que apresentou menor incidência foi CASW00GH00062S e o de maior incidência, CIGM93.177. A presença de micronúcleos pode influenciar na fertilidade e na estabilidade genética dos genitores, principalmente em retrocruzamentos com *T. aestivum*, comprometendo a obtenção de híbridos.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, *Aegilops tauschii*, instabilidade meiótica.

¹ Bióloga, M.Sc. em Agronomia - Produção Vegetal, estagiária da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, bolsista PIBIC/CNPq.

² Bióloga, Dra. em Genética e Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

³ Engenheiro-agrônomo, Dr. em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS.

⁴ Bióloga, Dra. em Fitotecnia, professora da Faculdade Especializada na Área de Saúde do Rio Grande do Sul (FASURGS), Passo Fundo, RS.

Micronucleus Occurrence and Genetic Instability Inference In Synthetic Wheat Accessions

Abstract – Synthetic wheat, a result of the crossing between a tetraploid (genomes AABB) and a diploid (genome DD) species, represents excellent germplasm for the introgression of genes in the genetic improvement of *Triticum aestivum* (genomes AABBDD). However, interspecific crosses may lead to genetic instabilities such as the incidence of micronuclei. The objective of this study was to verify the micronuclei occurrence and to infer about the genetic instability of 67 synthetic wheat accessions. Spikes were collected prior to anthesis, fixed in Carnoy during 24 hours, followed by transfer to ethanol 70% and stored at -20 °C. Acetic carmine (1%) was used for the preparation of 100 cytological slides with three replicates per accession. In this study, all accesses presented micronuclei. Of these, 15 were considered stable (percentages above 90% of viable cells), and 52 accessions with percentages between 46% and 89% were considered cytogenetically unviable and unstable. The access with the lowest incidence was CASW00GH00062S, and the one with the highest incidence was CIGM93.177. The presence of micronuclei may influence the fertility, and the genetic stability of the parents, especially in backcrossing with *T. aestivum*, compromising the hybrids production.

Index terms: *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, *Aegilops tauschii*, meiotic instability.

Introdução

A história do trigo cultivado, *Triticum aestivum*, está diretamente relacionada com o desenvolvimento da civilização humana. Com a sua domesticação, há dez mil anos na região da Mesopotâmia, o homem tornou-se capaz de produzir alimentos em grandes quantidades, aliando a possibilidade de armazenar os alimentos excedentes, resultando no aumento populacional e na evolução cultural (Piana; Carvalho, 2008).

O trigo é a maior fonte de alimentos para grande proporção da população mundial, sendo um dos principais cereais comercializados mundialmente. Devido ao aumento populacional esperado, será necessário um incremento significativo na produção deste cereal. Para isso, será fundamental a participação expressiva da produção agrícola advinda dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Ortiz et al., 2008). As espécies silvestres, próximas às plantas cultivadas, são grandes reservatórios de genes, os quais podem ser transferidos para as espécies cultivadas, tornando possível introduzir variabilidade genética e características desejáveis (Sharma; Gill, 1983; Prestes; Goulart, 1995; Tiwari et al., 2010).

Os trigos sintéticos resultam do cruzamento entre a espécie tetraploide *Triticum durum* (genoma AABB) com outra diploide, *Aegilops tauschii* (genoma DD), originando um híbrido estéril ABD. Para restaurar a fertilidade, é feita a ressíntese artificial do trigo hexaploide, duplicando-se os cromossomos com substâncias químicas, como a colchicina (Moraes-Fernandes, 1985; Moraes-Fernandes et al., 2000).

Este tipo de germoplasma foi primeiramente relacionado quase que exclusivamente como novas fontes de resistência a doenças, a insetos e a estresses ambientais (Morgounov et al., 2017). Entretanto, um fator importante ao considerar este recurso genético é se ele pode oferecer alelos benéficos que permitam aumentar o potencial de produção. Nas últimas décadas, os trigos sintéticos hexaploides também vêm mostrando variabilidade substancial quanto ao vigor de plântulas, à força da palha, à altura da planta, ao ciclo fenológico, a características de grãos e também ao rendimento de grãos e seus componentes (Del Blanco et al., 2001). Isso porque a poliploidia permite a formação de variedades melhoradas, apresentando aumento do vigor híbrido, aumento da diversidade e da heterozigosidade, sendo esta

última considerada o fator chave no crescimento, no desempenho e na adaptabilidade das plantas poliploides (Dar et al., 2017).

Embora muitas espécies poliploides se apresentem bem adaptadas e geneticamente estáveis, os aloploiploides recém-sintetizados, como é o caso dos trigos sintéticos, podem apresentar instabilidades fenotípicas e genéticas (Nie et al., 2008). De acordo com Rezaei et al. (2010), alterações meióticas como a ocorrência de cromossomos retardatários, de pontes cromossômicas, de micronúcleos e de citocinese anormal têm sido observadas com alta frequência em triticale, em trigos hexaploides sintéticos e em trigos tetraploides. Além dessas razões citogenéticas, estresses bióticos e abióticos também podem causar a fragmentação de cromossomos, produzindo células com micronúcleos (Omid et al., 2014; Diegues et al., 2015; Spósito et al., 2015; Morgounov et al., 2017).

Os micronúcleos são anormalidades que se formam durante as divisões celulares, originando-se de fragmentos cromossômicos ou mesmo de cromossomos inteiros. Isso ocorre devido a quebras de cromossomos, a aneuploidias ou ainda à segregação cromossômica desigual durante a anáfase, em que os cromossomos retardatários se “perdem”, formando massas de cromatina isoladas do grupo principal. Além disso, os micronúcleos também podem ser formados por cromossomos bivalentes não orientados, assim como por cromossomos com ascensão precoce ou retardatária que ocorrem nas metáfases e anáfases da primeira e/ou da segunda divisão da meiose. A consequência biológica disso é que, como esses cromossomos não são distribuídos por igual nas células-filhas, haverá um desequilíbrio na distribuição do material genético, resultando na variação no número e no tamanho de grãos de pólen obtidos a partir da célula-mãe do pólen, bem como na formação de grãos de pólen geneticamente desbalanceados e/ou estéreis. Outras causas da formação de micronúcleos são as interações das plantas frente a agentes químicos, físicos e/ou biológicos, que são capazes de promover distúrbios mitóticos (Mendes-Bonato, 2002; Fernandes et al., 2007; Bhat; Wani, 2017).

Os micronúcleos que ocorrem na telófase da primeira divisão meiótica podem ter destinos diferentes, tais como sofrer desintegração durante a segunda divisão meiótica, sofrer citocinese ao final da meiose I e separar-se como micrócitos ou persistir como micronúcleo durante a meiose II até a

fase de tétrade. Neste último caso, podem também permanecer até a fase do desenvolvimento de grão de pólen e, como consequência, ocasionar instabilidades genéticas nos momentos da fecundação, da formação do embrião ou até do desenvolvimento da semente, pelo fato de que os micronúcleos representam perda de material genético. Portanto, estudos citogenéticos permitem comparações entre espécies silvestres e cultivadas frente às características cromossômicas ocorridas durante a divisão celular e, deste modo, tornam-se ferramentas importantes que auxiliam diretamente o melhoramento genético do trigo (Moraes-Fernandes et al., 2000; Arabbeigi et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi verificar a ocorrência de micronúcleos em tétrades e/ou em micrósporos uninucleados, permitindo, a partir disso, inferir sobre a instabilidade genética de acessos de trigos sintéticos e contribuir para a escolha e o uso posterior desse germoplasma nos programas de melhoramento genético de trigo cultivado.

Material e Métodos

Foram analisados 67 acessos de trigos sintéticos (Tabela 1), provenientes do Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, México) e mantidos no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Trigo. Os acessos foram cultivados durante a estação de inverno em casa de vegetação, em vasos de 10 L contendo solo da unidade de mapeamento Passo Fundo (latossolo vermelho distrófico húmico, textura argilosa), com correções de pH, micro e macronutrientes. Foram utilizados dois baldes por acesso, contendo 8 plantas cada, totalizando 16 plantas por acesso.

Para as análises citogenéticas, foram coletadas espigas de seis plantas, no momento anterior à antese, em horários compreendidos entre 10 h e 16 h. As espigas foram identificadas para análises posteriores em laboratório. A fixação do material biológico foi realizada em solução Carnoy 3:1 (álcool etílico absoluto:ácido acético glacial) por 24 h em temperatura ambiente, sendo realizada uma nova troca da solução Carnoy, mantendo-se por mais 24 h na mesma condição ambiental. Após este período, as espigas foram transferidas para etanol 70% e armazenadas a -20 °C, até o momento de uso.

Para o preparo de cada lâmina citológica, foram usadas seis anteras de duas flores diferentes, oriundas da região mediana da espiga. Foram preparadas três lâminas por acesso, constituindo as repetições. As anteras foram cortadas em pequenos pedaços com o auxílio de um bisturi, para a liberação das células, em corante carmim acético 1%. Foi realizada leve pressão sobre lamínula colocada sobre a amostra. As análises foram feitas ao microscópio ótico (Olympus, modelo BX50), com aumento de 400x. Foram analisados 100 tétrades e/ou micrósporos por lâmina para todos os acessos, avaliando-se incidência (em porcentagem) de micronúcleos em tétrades e/ou micrósporos uninucleados. O ponto de corte adotado, considerando células viáveis e inviáveis, foi de 90%, conforme recomendado por Love (1949). Acessos que apresentaram porcentagem inferior a 90% de células com presença de micronúcleos, tanto na fase de tétrades como de micrósporos uninucleado, foram considerados citogeneticamente instáveis; acessos com porcentagem igual ou superior a 90% foram considerados estáveis e, por consequência, viáveis para a fecundação e geração dos híbridos.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nos 67 acessos de trigos sintéticos analisados, considerando a variável porcentagem de tétrades e/ou micrósporos sem micronúcleos, são apresentados na Tabela 1. Em negrito, destacam-se os acessos com porcentual de células acima de 90%, consideradas viáveis e com estabilidade genética do ponto de vista cromossômico/citogenético, estando aptos para uso imediato em retrocruzamentos com trigo cultivado.

Embora seja obtida grande diversidade genética advinda do trigo hexaploide sintético, que é um híbrido desenvolvido pelo homem de forma análoga à evolução do *T. aestivum* (Yang et al., 2009), o desenvolvimento destes híbridos pode levar a distintas instabilidades meióticas, como presença de cromossomos retardatários, pontes cromossômicas, micronúcleos e citocinese anormal. Estas alterações podem interferir no desenvolvimento reprodutivo de plantas, uma vez que a meiose representa o estágio mais sensível do ciclo de vida das plantas cultivadas, a qual é influenciada diretamente por fatores genéticos e ambientais (Ahmad et al., 1984; Porch; Jahn, 2001; Erickson; Markhart, 2002).

Tabela 1. Porcentagens de células viáveis, observadas em tétrades e/ou micrósporos uninucleados, em acessos de trigos sintéticos mantidos no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Trigo, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Acesso	Células viáveis (%)	Acesso	Células viáveis (%)
CASW00GH00062S*	94,66	CASS03GH00019S	81,33
CIGM.93.305*	93,66	CASW00GH00044S	81,00
CIGM.93.306*	93,66	CASW00GH00058S	80,66
CIGM92.1666*	93,00	CIGM88.1252-0B	80,66
CIGM93.294*	92,66	CASS03GH00029S	80,66
CIGM93.266*	92,33	CASW00GH00014S	80,00
CASW01GH00004S*	92,33	CIGM93.205	79,66
CASS03GH000648*	92,00	CASS03GH00010S	78,66
CIGM93.242*	91,66	CASS03GH000618	78,33
CASS03GH00001S*	91,00	CASS03GH00054S	78,33
CASS03B00120S*	90,66	CASS03GH000688	78,00
CASS02B00001S*	90,33	CASS03GH000588	78,00
CASS02B00006S*	90,33	CIGM93.200	77,99
CASS03GH00007S*	90,00	CASS03B00114S	77,66
CASW02GH00009S*	90,00	CIGM92.1680	77,33
CIGM.93.302	89,33	CIGM92.1682	77,33
CASW00GH00024S	89,33	CIGM93.395	77,33
CASS03GH000638	88,66	CASW00GH00068S	76,66
CIGM93.406	88,33	CASS03GH00022S	76,33
CIGM92.1706	88,33	CASS03GH00030S	76,00
CIGM88.1239-4B	88,33	CIGM.93.271	75,66
CIGM92.1849	88,00	CASW00GH00064S	75,33
CASS03GH00004S	86,33	CASS03B00121S	75,00
CIGM88.1239-1B	86,33	CASS03B00116S	71,66
CIGM88.1239-3B	85,66	CIGM93.275	71,33
CASS02B00011S	85,33	CASW00GH00026S	69,66
CASS03GH00003S	85,33	CASW01GH00002S	69,00
CIGM92.1713	84,66	CASS03GH000598	69,66
CASS03GH000628	84,66	CASS03GH00012S	66,33

continua...

Tabela 1. Continuação.

Acesso	Células viáveis (%)	Acesso	Células viáveis (%)
CASW02GH00008S	83,00	CIGM93.268	64,66
CIGM88.1239-2B	82,66	CIGM92.1702	63,00
CASW00GH00059S	82,33	CASS03B00122S	62,33
CASS02B00004S	82,33	CIGM93.177	46,00
CASW02GH00012S	82,00		

* Acessos acima do ponto de corte (90%) considerados estáveis citogeneticamente.

Avaliando-se individualmente os acessos, foi verificado que 15 destes (22%) foram considerados estáveis para uso em programas de melhoramento genético de trigo (Figura 1). Em 52 acessos (78%), foi observada porcentagem de células normais abaixo de 90%, havendo grande variação na quantidade de micronúcleos entre os acessos. Todos os acessos apresentaram células com um ou mais micronúcleos (Figura 2). Ressalta-se que o ponto de corte de 90% foi o mesmo usado para determinação do Índice Meiótico (IM) descrito por Love (1949), que considera o número de tétrades normais divididas pelo número total de tétrades analisadas, multiplicadas por 100. Basicamente, por meio dessa análise citogenética, considera-se que plantas com IM inferior a 90% podem acarretar problemas de pareamento cromossômico, quando usadas em cruzamentos.

Em alguns casos, foi observada coloração diferenciada de algumas espigas após a maturação de sementes, apresentando uma tonalidade marrom. Além dessa coloração diferenciada, em estudo preliminar realizado nos mesmos acessos de trigos sintéticos do presente estudo, observou-se que alguns dos materiais que apresentaram médias elevadas em relação à presença de micronúcleos também apresentaram anormalidades morfológicas, quando mantidos em casa de vegetação, tais como enrolamento de folhas e espigas menores em relação ao tamanho médio de espigas de trigo. Avaliações complementares, como estudos meióticos, são necessárias, visando a avaliar os híbridos obtidos entre *T. durum* x *Ae. tauschii* e se esses novos poliploides podem ser geradores de instabilidades genéticas, além de outras análises comparativas em condições de campo e de casa-de-vegetação, para verificar a interação genótipo/ambiente.



Foto: Sandra Patussi Brammer

Figura 1. Tétrade normal em trigo sintético, observada em microscopia ótica e com corante carmim acético 1%. Aumento de 400x.



Foto: Sandra Patussi Brammer

Figura 2. Tétrade com micronúcleos (setas) em trigo sintético, observada em microscopia ótica e com corante carmim acético 1%. Aumento de 400x.

De acordo com Pagliarini (2000), a instabilidade provocada pela segregação irregular cromossômica pode resultar em alterações na expressão de genes, influenciando diretamente na morfologia da planta. Em seu estudo, foi observada correlação entre fertilidade do pólen e produção de sementes em todas as espécies em que houve segregação irregular de cromossomos.

A alopoliploidização é um processo importante de especiação no reino vegetal, responsável por dois grandes eventos diferenciados: a hibridação entre dois genomas divergentes, resultando em um único núcleo, e a poliploidização, que resulta na duplicação dos genomas. Em resposta a estes dois “choques” genômicos, os genomas dos novos alopoliploides formados reagem com intensas reorganizações e modificações genômicas. Estas alterações incluem rearranjos estruturais em ambos os cromossomos, bem como em níveis de sequências, na alteração na expressão dos genes, na ativação de transposons e em rearranjos ou eliminações de sequências altamente repetitivas (Nie et al., 2008). Do mesmo modo, a eliminação de cromossomos uniparentais também pode ocorrer em poliploides originados de espécies relacionadas (Gernand et al., 2005). A maioria das espécies de plantas poliploides, incluindo importantes culturas, como o trigo, são alopoliploides que surgiram após a hibridação de progenitores diploides relacionados. A condição poliploide confere algumas vantagens, como heterose ou redundância genética, mas implica em desvantagens, como a propensão a gerar produtos meióticos aneuploides que reduzem a fertilidade (Comai, 2005). Além disso, a poliploidização pode desestabilizar redes de regulação gênica, de organização genômica e de segregação cromossômica. A fase crítica na evolução de poliploides é a estabilização da meiose, principalmente pelo pareamento dos cromossomos homólogos e a sua distribuição na primeira divisão meiótica (Pecinka et al., 2011).

Assim, o desenvolvimento de genótipos de trigos sintéticos também está sujeito às instabilidades meióticas, uma vez que a técnica para a sua criação segue os mesmos princípios observados na natureza, na formação de poliploides. Destaca-se que os micronúcleos que ocorrem na telófase da primeira divisão meiótica podem ter destinos diferentes, como sofrer desintegração durante a segunda divisão meiótica, sofrer citocinese ao final da meiose I e separar-se como micrócitos ou persistir como micronúcleo durante a meiose II até a fase de tétrade. Por esta razão, análises citogenéticas, acompanhadas das análises fenotípicas, são fundamentais para a seleção

de genótipos mais estáveis e agronomicamente superiores, servindo como potenciais genitores em retrocruzamentos.

De acordo com Morgounov et al. (2017), vários estudos com trigos sintéticos estão em andamento, não somente pela possibilidade de aumento de resistência genética às doenças, mas pelo fato de promover novas recombinações gênicas envolvidas entre os parentais selvagens de trigo, possibilitando expandir a base genética para combater desafios climáticos e estresses bióticos. Destaca-se o parental e doador do genoma DD, *Aegilops tauschii*, por apresentar maior diversidade genética do que o trigo comum (Naghavi; Mardi, 2010), estando diretamente envolvido nos cruzamentos e representando excelente reservatório de genes. Deste modo, os trigos sintéticos, devidamente caracterizados quanto à estabilidade genética e aos estresses bióticos e abióticos, representam novas possibilidades para os programas de melhoramento genético do trigo cultivado.

Conclusões

No presente estudo, todos os acessos apresentaram micronúcleos. Desses, 15 foram considerados estáveis geneticamente e com porcentagens de células viáveis acima de 90%. Entretanto, 52 acessos apresentaram porcentagens entre 46% e 89%, considerados instáveis e inviáveis. Essas análises são úteis para futuros cruzamentos em programas de melhoramento genético de trigo, pois permitem inferir sobre a instabilidade genética dos genitores, auxiliando, deste modo, a escolha apenas dos acessos geneticamente estáveis e com células gaméticas viáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem às técnicas Andréa Morás e Valdirene Volpato, pelo apoio prestado nas atividades de laboratório, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de Iniciação Científica para a primeira autora, na modalidade PIBIC/Embrapa Trigo.

Referências

- AHMAD, Q. N.; BRITTEN, E. J.; BYTH, D. E. Effect of interacting genetic factors and temperature on meiosis and fertility in soybean x *Glycine soja*. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v. 26, n. 1, p. 50-56, 1984.
- ARABBEIGI, M.; ARZANI, A.; SAEIDI, G. Meiotic behavior of wild, synthetic and cultivated wheats. *Cytologia*, v. 75, n. 2, p. 169-175, 2010.
- BHAT, T. A.; WANI, A. A. Mutagenic effects on meiosis in legumes and a practical case study of *Vicia faba* L. In: BHAT, T. A.; WANI, A. A. (Ed.). **Chromosome structure and aberrations**. Srinagar, India: Springer, 2017. p. 219-244.
- COMAI, L. The advantages and disadvantages of being polyploid. **Nature Reviews Genetics**, v. 6, n. 11, p. 836-846, 2005.
- DAR, J. A.; BEIGH, Z. A.; WANI, A. A. Polyploidy: evolution and crop improvement. In: BHAT, T. A.; WANI, A. A. (Ed.). **Chromosome structure and aberrations**. Srinagar, India: Springer, 2017. p. 201-218.
- DIEGUES, I. P.; DAMASCENO JUNIOR, P. C.; RIBEIRO, N. V. S.; REIS, M. V. M.; ABOUD, A. C. S. Meiotic behavior and pollen viability in the species *Jatropha curcas* L. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 141-150, 2015.
- DEL BLANCO, I. A.; RAJARAM, S.; KRONSTAD, W. E. Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. **Crop Science**, v. 41, n. 3, p. 670-676, 2001.
- ERICKSON, A. N.; MARKHART, A. H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bellpepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 1, p. 123-130, 2002.
- FERNANDES, T. C. C.; MAZZEO, D. E. C.; MARIN-MORALES, M. A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trixuralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, n. 3, p. 252-259, 2007.
- GERNAND, D.; RUTTEN, T.; VARSHNEY, A.; RUBTSOVA, M.; PRODANOVIC, S.; CORNELIA B.; KUMLEHN, J.; MATZK, F.; HOUBEN, A. Uniparental chromosome elimination at mitosis and interphase in wheat and pearl millet crosses involves micronucleus formation, progressive heterochromatinization, and DNA fragmentation. **The Plant Cell**, v. 17, n. 9, p. 2431-2438, 2005.
- LOVE, R. M. **Estudos citológicos preliminares de trigos rio-grandenses**. Porto Alegre: Secretaria do Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio, 1949. 23 p.
- MENDES-BONATO, A. B.; VALLE, C. B.; PAGLIARINI, M. S.; PENTEADO, M. I. O. **Caracterização citogenética de acessos de *Brachiaria brizantha* (Gramineae)**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2002. 31 p. (Embrapa Gado de Corte. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 15). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104571/1/Caracterizacao-citogenetica.pdf>>. Acesso em: junho de 2011
- MORAES-FERNANDES, M. I. B. Domesticar o grão. **Ciência Hoje**, v. 3, n. 17, p. 38-45, 1985.
- MORAES-FERNANDES, M. I. B.; ZANATTA, A. C. A.; PRESTES, A. M.; CAETANO, V. R.; BARCELLOS, A. L.; ANGRA, D. C.; PANDOLFI, V. Cytogenetics and immature culture embryo at Embrapa Trigo breeding program: transfer of disease resistance from related species by artificial resynthesis of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p.1051-1062, 2000.

MORGOUNOV, A.; ABUGALIEVA, A.; AKAN, K.; AKIN, B.; BAENZIGER, S.; BHATTA, M.; DABABAT, A. A.; DEMIR, L.; DUTBAYEV, Y.; EL BOUHSSINI, M.; ERGINBAS-ORAKCI, G.; KISHII, M.; KESER, M.; KOÇ, E.; KURESPEK, A.; MUJEEB-KAZI, A.; YORGANCILAR, A.; ÖZDEMİR, F.; ÖZTURK, I.; PAYNE, T.; QADIMALIYEVA, G.; SHAMANIN, V.; SUBASI, K.; SULEYMANOVA, G.; YAKISIR, E.; ZELENSKIY, Y. High-yielding winter synthetic hexaploid wheats resistant to multiple diseases and pests. **Plant Genetic Resources**, May 2017. 6 p. doi: 10.1017/S147926211700017X, 2017.

NAGHAVI, M. R.; MARDI, M. Characterization of genetic variation among accessions of *Aegilops tauschii*. **Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 93-96, 2010.

NIE, L.; HAN, Z.; LU, L.; YAO, Y.; SUN, Q.; NI, Z. Genomic and genic sequence variation in synthetic hexaploid wheat (AABBDD) as compared to their parental species. **Progress in Natural Science**, v. 18, n. 5, p. 533-538, 2008.

OMIDI, M.; SIAHPOOSH, M. R.; MAMGHANI, R.; MODARRESI, M. The influence of terminal heat stress on meiosis abnormalities in pollen mother cells of wheat. **Cytologia**, v.79, n. 1, p. 49-58, 2014.

ORTIZ, R.; BRAUN, H. J.; CROSSA, J.; CROUCH, J. H.; DAVENPORT, G.; DIXON, J.; DREISIGACKER, S.; DUVEILLER, E.; HE, Z.; HUERTA, J.; JOSHI, A. K.; KISHII, M.; KOSINA, P.; MANES, Y.; MEZZALAMA, M.; MORGOUNOV, A.; MURAKAMI, J.; NICOL, J.; FERRARA, G. O.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; PAYNE, T. S.; PEÑA, R. J.; REYNOLDS, M. P.; SAYRE, K. D.; SHARMA, R. C.; SINGH, R. P.; WANG, J.; WARBURTON, M.; WU, H.; IWANAGA, M. Wheat genetic resources enhancement by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 55, n. 7, p. 1095-1140, 2008.

PAGLIARINI, M. S. Meiotic behavior of economically important plant species: the relationship between fertility and male sterility. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p. 997-1002, 2000.

PECINKA, A.; FANG, W.; REHMSMEIER, M.; LEVY, A. A.; SHEID, O. M. Polyploidization increases meiotic recombination frequency in Arabidopsis. **BMC Biology**, v. 9, n. 24, p. 1-7, 2011.

PIANA, C. F. B.; CARVALHO, F. I. F. Trigo – a cultura que deu suporte a civilização. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 821-851.

PRESTES, A. M.; GOULART, L. R. Transferência de resistência a doenças de espécies silvestres para espécies cultivadas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 3, p. 315-363, 1995.

PORCH, T. G.; JAHN, M. Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 7, p. 723-731, 2001.

REZAEI, M.; ARZANI, A.; SAYED-TABATABAEI, B. E. Meiotic behaviour of tetraploid wheats (*Triticum turgidum* L.) and their synthetic hexaploid wheat derivatives influenced by meiotic restitution and heat stress. **Journal of Genetics**, v. 89, n. 4, p. 401-407, 2010.

SHARMA, H. C.; GILL, B. S. Current status of wide hybridization in wheat. **Euphytica**, v. 32, n. 1, p. 17-31, 1983.

SPÓSITO, J. C. V.; CRISPIM, B. A.; MUSSURY, R. M.; GRISOLIA, A. B. Genetic instability in plants associated with vehicular traffic and climatic variables. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 120, p. 445-448, 2015.

TIWARI, V. K.; RAWAT, N.; NEELAM, K.; KUMAR, S.; RANDHAWA, G. S.; DHALIWAL, H. S. Random chromosome elimination in synthetic *Triticum-Aegilops* amphiploids leads to development of a stable partial amphiploid with high grain micro- and macronutrient content and powdery mildew resistance. **Genome**, v. 53, n. 12, p. 1053-1065, 2010.

YANG, W.; LIU, D.; LI, J.; ZHANG, L.; WEI, H.; HU, X.; ZHENG, Y.; HE, Z.; ZOU, Y. Synthetic hexaploid wheat and its utilization for wheat genetic improvement in China. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 36, n. 9, p. 539-546, 2009.

Embrapa

Trigo

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 14409