

Trigos sintéticos: explorando o uso de genes de importância agrônômica



Triticum durum

Triticum aestivum

Triticum tauschii

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

DOCUMENTOS 185

Trigos sintéticos: explorando o uso de genes de importância agronômica

*Sandra Patussi Brammer
Patrícia Frizon*

***Embrapa Trigo
Passo Fundo, RS
2019***

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 Embrapa Trigo

Presidente
Gilberto Rocca da Cunha

Vice-Presidente
Luiz Eichelberger

Secretária
Gessi Rosset

Membros
Alberto Luiz Marsaro Júnior, Alfredo do Nascimento Junior, Ana Lídia Variani Bonato, Elene Yamazaki Lau, Fabiano Daniel De Bona, Gisele Abigail Montan Torres, Maria Imaculada Pontes Moreira Lima

Normalização bibliográfica
Maria Regina Cunha Martins (CRB 10/609)

Tratamento das ilustrações e editoração
eletrônica
Fátima De Marchi e Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Capa
Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Fotos da capa
Sandra Patussi Brammer

1ª edição
versão on-line (2019)

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

Brammer, Sandra Patussi.

Trigos sintéticos: explorando o uso de genes de importância agrônômica.
/ Sandra Patussi Brammer, Patrícia Frizzon. – Passo Fundo : Embrapa Trigo,
2019.

21 p. – (Documentos online / Embrapa Trigo, ISSN 1518-6512 ; 185)

1. Trigo sintético – Melhoramento genético vegetal. I. Frizzon, Patrícia. II.
Título. III. Série.

Autores

Sandra Patussi Brammer

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

Patrícia Frizon

Engenheira Agrônoma, Dra. em Agronomia/Produção Vegetal, estagiária da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, bolsista AT/CNPq.

Apresentação

O trigo é um dos cereais mais abundantes do globo, ocupa aproximadamente 200 milhões de hectares nos cinco continentes. A versatilidade é a principal razão do seu sucesso, pois é uma planta de fácil adaptação. É claro que os modernos processos de melhoramento contribuem de forma decisiva para essa expansão, e graças a elas, atualmente, não há sequer uma época do ano em que o cereal não esteja sendo colhido em algum lugar do mundo.

Como estratégia, o uso de trigos sintéticos em programas de pré-melhoramento genético possibilitará aos melhoristas a incorporação de diferentes combinações gênicas, visando ao desenvolvimento de novas cultivares de trigo. Isso porque quando as fontes de variabilidade do material cultivado estão exauridas, os pesquisadores recorrem às espécies silvestres com genomas relacionados, oriundos das espécies e gêneros afins, para obter os caracteres desejados e com grande potencial de novas fontes de genes relacionados às características de interesse.

Portanto, dentre os atributos vantajosos dos trigos sintéticos e como estratégia cada vez mais eficiente de transferência de genes, tem-se a oferta de novos materiais que possam vir a contribuir com os aspectos associados ao maior rendimento de grãos, tolerância a estresses, características agrônômicas e de qualidade tecnológica desejadas.

Oswaldo Vasconcellos Vieira
Chefe-Geral da Embrapa Trigo

Sumário

Introdução.....	9
Trigos sintéticos	10
Potencialidades dos trigos sintéticos no melhoramento genético.....	12
Análises citogenéticas na detecção da introgressão gênica.....	13
Considerações finais	16
Referências	16

Introdução

A hibridação interespecífica é importante na utilização do reservatório de genes de algumas espécies silvestres que possuem resistência a estresses bióticos e abióticos, transferindo-se esta resistência para outras espécies cultivadas suscetíveis. Os recursos genéticos têm desempenhado um papel significativo no melhoramento genético, proporcionando a variabilidade necessária por meio da incorporação de novos genes ou combinações de genes de importância agronômica (Skovmand et al., 2002). Uma das possibilidades de obtenção de novos genótipos promissores se dá pelo desenvolvimento dos trigos sintéticos, em que diferentes combinações gênicas são oriundas da hibridação das espécies que constituem o trigo cultivado, *Triticum aestivum* L.

Esse processo se baseia no fato de que as espécies conhecidas de trigo formam uma série poliploide, onde suas relações dentro da tribo *Triticeae* foram extensivamente estudadas por meio da análise de genomas. A subtribo *Triticinae* é formada pelos gêneros *Triticum*, *Aegilops*, *Agropyron*, *Secale* e *Haynaldia*, os quais apresentam origem relativamente recente. A hibridação entre esses gêneros é possível, permitindo que ocorra a introgressão gênica de uma espécie para outra (Moraes-Fernandes et al., 2000). Além do mencionado, o potencial prático da hibridação ampla em *Triticeae* é provavelmente muito maior do que em outros grupos, em função da facilidade de cruzamento, aliada ao amplo conhecimento dos genomas, mas também como consequência da importância desta cultura para o mundo (Mujeeb-Kazi; Kimber, 1985).

Porém, para que os trigos sintéticos sejam disponibilizados, é imprescindível haver a caracterização quanto à detecção das introgressões gênicas e da estabilidade genética dos parentais e híbridos, por meio de diferentes estratégias metodológicas, destacando-se a citogenética por ser extremamente informativa, rápida e, normalmente, de baixo custo.

O objetivo desse documento é disponibilizar uma breve revisão de como são desenvolvidos os trigos sintéticos, o potencial uso em programas de pré-melhoramento genético e as possíveis limitações, caso sejam detectadas instabilidades citogenéticas durante as introgressões gênicas.

Trigos sintéticos

Os trigos sintéticos foram descritos pela primeira vez por McFadden e Sears (1946) e desde então, muitos programas de melhoramento têm empregado a estratégia de uso desse germoplasma. Conceitualmente, os trigos sintéticos hexaploides são obtidos através dos cruzamentos entre as espécies tetraploides (genomas AABB), por exemplo, *Triticum turgidum* ou *T. durum* com espécies diploides, principalmente *T. tauschii* = *Aegilops tauschii* (genoma DD). Os híbridos triploides produzidos (ABD) são estéreis, devido a falhas causadas nos pareamentos cromossômicos. Com a duplicação dos cromossomos, um anfiploide (indivíduo que se originou por uma hibridação interespecífica e que possui o complemento cromossômico total das espécies genitoras) é produzido, resultando na síntese artificial do trigo hexaploide, após a restauração da fertilidade. Para essa condição, o procedimento básico é o cultivo *in vitro* do embrião triploide imaturo, seguido da aplicação da colchicina, visando à duplicação cromossômica (Figura 1). Estas formas sintéticas representam um produto novo, onde o genoma da espécie afim torna-se disponível para ser cruzado com a forma cultivada (Moraes-Fernandes et al., 2000; Cardoso, 2007). A diferença entre o trigo sintético com o trigo *T. aestivum* ($2n=6x=42$) cultivado comercialmente, é que esse foi naturalmente gerado há cerca de 10.000 anos, a partir da hibridização espontânea de *T. turgidum* ($2n = 4x = 28$, AABB) com *Ae. tauschii* ($2n = 2x = 14$, DD) (Marcussen et al., 2014). No caso do trigo sintético, esse foi obtido por meio de hibridações realizadas diretamente pelo melhorista (Yang et al., 2009).

A maior coleção de trigos sintéticos no mundo foi desenvolvida pelo Centro Internacional de Melhoramento de Trigo e Milho (CIMMYT) durante os anos de 1988-2010, com 1.300 sintéticos produzidos, utilizando cinquenta genótipos melhorados de *T. durum* e 900 acessos de *Ae. tauschii*. Desses, cerca de 100 trigos sintéticos foram desenvolvidos usando diferentes acessos silvestres das espécies *T. dicoccoides* e *Ae. tauschii*. Coleções adicionais também foram desenvolvidas pelo CIMMYT e diferentes Instituições de pesquisa dos Estados Unidos, usando trigo de inverno e acessos de *Ae. tauschii* para facilitar a incorporação de características desejáveis, em programas de melhoramento de trigo de inverno (Hanif et al., 2014; Yildirim et al., 2017).

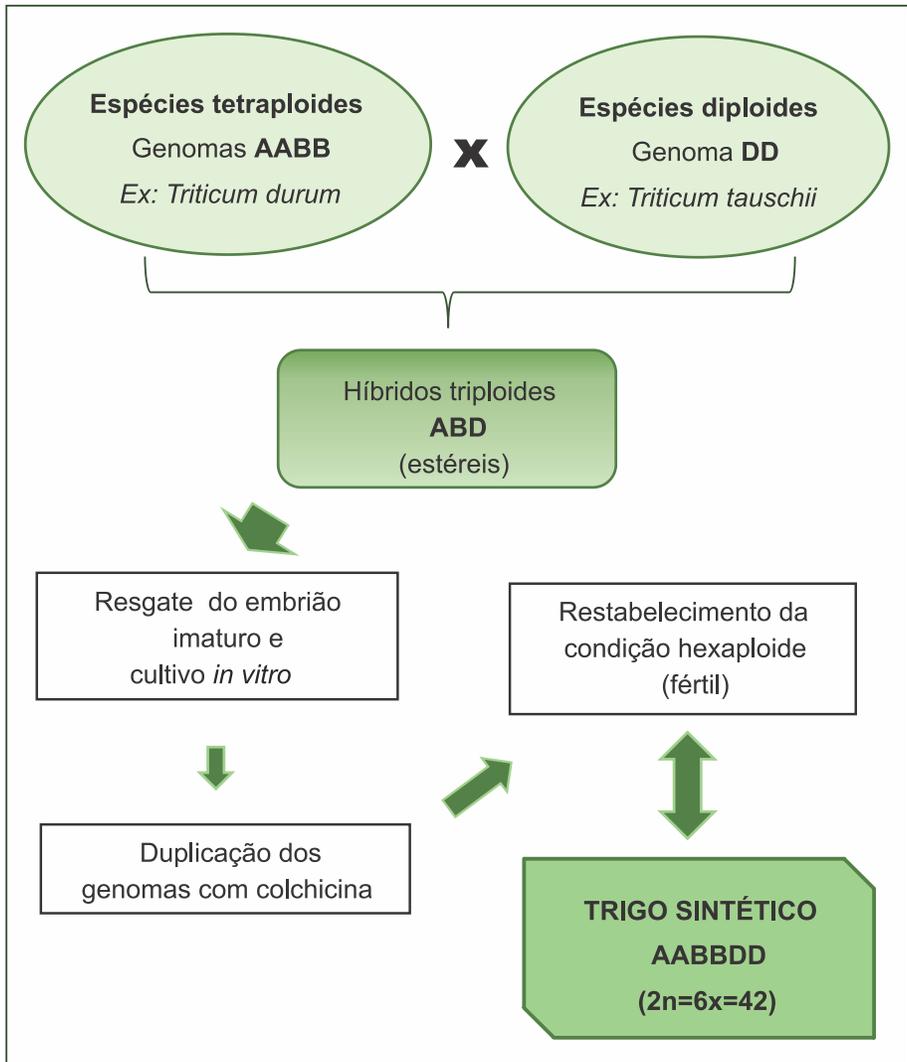


Figura 1. Esquema representativo do desenvolvimento dos trigos sintéticos hexaploide.

Potencialidades dos trigos sintéticos no melhoramento genético

Os recursos genéticos têm desempenhado um papel significativo no melhoramento genético, proporcionando a variabilidade necessária por meio da incorporação de novos genes ou combinações de genes de importância agronômica, tais como os responsáveis pela resistência/tolerância aos estresses bióticos e abióticos (Skovmand et al., 2002). Em virtude de possuir constituição cromossômica complexa, o trigo hexaploide tem uma peculiaridade especial: nas suas células, coexistem os genomas de três espécies primitivas diferentes (*T. urartu* – genoma AA; *Ae. speltooides* – genoma BB e *Ae. tauschii* – genoma DD), resultantes das hibridizações naturais (Marcussen et al., 2014). Tal peculiaridade permite que se inter cruzem e que gerem híbridos férteis, embora, em alguns casos, haja a necessidade de procedimentos especiais como o resgate de embriões imaturos e uso da cultura de tecidos. Além do mencionado, a poliploidia possibilita a incorporação de genes de espécies próximas, permitindo ao melhoramento genético avanços na incorporação de genes de importância agronômica e com retorno econômico (Brammer et al., 2011).

Os trigos sintéticos hexaploides são considerados repositórios de ampla diversidade genética para o melhoramento do trigo cultivado (Ogbonnaya et al., 2013), incorporando alelos e genes de resistência/tolerância a estresses bióticos e abióticos (Bibi et al., 2012; Rasheed et al., 2012). No entanto, geralmente possuem baixo valor agronômico, são difíceis de trilhar e apresentam baixo rendimento de grãos (Trethowan; Mujeeb-Kazi, 2008). Portanto, trigos sintéticos primários precisam ser retrocruzados com uma cultivar elite, visando a incorporação de alelos favoráveis em programas de melhoramento até o desenvolvimento de novas cultivares (Arraiano et al., 2001; Mujeeb-Kazi et al., 2004).

A seleção de genitores e de populações segregantes constitui a primeira etapa no processo de melhoramento. Dessa, depende o sucesso das demais etapas e, conseqüentemente, a eficiência do programa, sendo uma das decisões de maior importância a ser tomada pelo melhorista (Bertan et al., 2007; Pereira et al., 2007), principalmente quando considera a introgressão

de alelos exóticos oriundos de parentais silvestres (Mujeeb-Kazi et al., 2008; Brammer et al., 2011).

Conforme mencionado por Scheeren et al. (2011), a exploração e utilização da variabilidade presente nos recursos genéticos não têm sido limitada a genótipos de *T. aestivum*, mas incluem também outros gêneros e espécies dentro da tribo *Triticeae*. Os autores destacam que a pesquisa está direcionada aos estudos com genótipos do gênero *Aegilops*, o gênero mais proximamente relacionado com o gênero *Triticum* e com potencial fonte de germoplasma para os programas de melhoramento de trigo, sendo *Ae. tauchii* a espécie predominantemente utilizada para o desenvolvimento dos trigos sintéticos.

Um grande número de genes foi transferido das espécies de *Aegilops* para trigo cultivado, incluindo aqueles para resistência às ferrugens (colmo, folha e amarela) e oídio, bem como a várias pragas (nematóide de cisto e de galhas) (Schneider et al., 2008). Adicionalmente, diferentes linhas de trigos sintéticos foram desenvolvidas com resistência para as seguintes características: insetos, septorioses, podridão da coroa, manchas foliares, fusariose, brusone, tolerância a estresses abióticos (seca, calor, salinidade e encharcamento), rendimento de grãos e qualidade tecnológica de uso final, além de variabilidade substancial quanto ao vigor de plântulas, à resistência do colmo, à altura da planta e ao ciclo fenológico (Del Blanco et al.; 2001; Cruz et al., 2010; Ogonnaya et al., 2013; Jafarzadeh et al., 2016; Frizon, 2016; Yildirim et al., 2017; Casal-Martínez et al., 2019). Destacam-se que alguns dos germoplasmas derivados dos trigos sintéticos têm sido utilizados com sucesso para desenvolver variedades comerciais de trigo, como a variedade altamente produtora 'Chuanmai 42' (Yang et al., 2009) e variedades resistentes a insetos 'TAM 110' (Lazar et al., 2004) e 'TAM 112' (Rudd et al., 2001).

Análises citogenéticas na detecção da introgressão gênica

Estudos celulares têm produzido verdadeiras revoluções nas tecnologias e no conhecimento biológico. Dentre esses, as análises citogenéticas de plantas

são empregadas no estudo do comportamento dos cromossomos durante os diferentes estágios de desenvolvimento da planta, desde uma célula isolada até a planta inteira (Brammer et al, 2011). Outros estudos permitem a determinação do nível de ploidia e confirmação do número cromossômico das espécies e são realizados também para avaliar a estabilidade genômica da espécie e para monitorar a transferência interespecífica e intergenérica, maximizando tempo, recursos físicos e financeiros (Brambatti, 2010). Estudos quanto à variabilidade e viabilidade do grão de pólen são empregados como seleção assistida durante os cruzamentos nos programas de melhoramento genético, uma vez que centenas de grãos de pólen podem ser analisados rapidamente de modo eficiente e eficaz. O exame na fase inicial do desenvolvimento do grão de pólen permite inferir quanto as anormalidades de comportamento cromossômico durante a meiose e com isso estimar a estabilidade genética. Em uma fase mais tardia, permite identificar algumas características anatômicas e fisiológicas, fundamentais para o seu desenvolvimento, como número de núcleos, estruturas das membranas internas e externas, quantidade de amido, poro e tamanho (Zanotto et al., 2009).

Estudos em híbridos interespecíficos, visando distinguir os cromossomos oriundos de diferentes parentais, a partir da técnica de Hibridização *In Situ* Fluorescente (FISH) e Hibridização Genômica *In Situ* (GISH), permitem com precisão o acompanhamento da quantidade de material genético introgridido e a análise de pareamentos intergenômicos nas plantas híbridas (Peñalosa; Pozzobon, 2007; Brammer et al., 2013). Investigações cromossômicas com procedimentos que usam sinais fluorescentes permitem identificar sequências específicas de nucleotídeos, segmentos de cromossomos ou conjuntos inteiros de cromossomos para obter uma visão ampla do genoma de uma única vez (Kato et al., 2005). Além do mencionado, detecta moléculas de RNA mensageiro no citoplasma e DNA viral inserido no cromossomo, permitindo maior disponibilidade de sondas e de diferentes protocolos, facilitando as análises e ampliando o seu uso nas investigações de regiões genômicas de interesse, em escala celular (Rogatto; Rainho, 2000), principalmente pelo fato de que as análises em cromossomos somáticos metafásicos, usando sequências repetitivas em tandem, são apontadas como excelente marcador físico para a identificação de cromossomos (Brasileiro-Vidal; Guerra, 2002).

Embora muitas vezes a transferência gênica pode ser limitada pelas barreiras interespecíficas, a compreensão e o estudo detalhado das relações biológicas entre as espécies, via análises citogenéticas, tornam-se essenciais para determinar qual o procedimento mais adequado para a obtenção dos híbridos, fazendo com que um programa de melhoramento tenha mais chances e sucesso de exploração dos recursos genéticos disponíveis (Brammer, 2003). Isso porque a instabilidade cromossômica é causada principalmente pela divisão celular anormal e como consequência, pode ser drástico para a progênie. Quando a ocorrência das aberrações é geneticamente determinada, a instabilidade da cultivar torna-se recorrente. Muitas destas instabilidades são decorrentes de fatores bióticos e abióticos.

Os programas de melhoramento genético vegetal estão fundamentados na obtenção de cultivares superiores, a partir da manipulação genética existente no germoplasma de determinada espécie. Dentre os fatores responsáveis pelo sucesso desses programas, destacam-se a seleção de genótipos e os cruzamentos cuja eficácia depende, diretamente, da viabilidade do pólen (Tecchio et al., 2006). Contudo, quando é detectado, dentro de um programa de melhoramento, genótipos instáveis, mas com elevado valor agrônômico, uma das alternativas é a seleção de linhas estáveis nos genótipos instáveis. Para tal, a seleção assistida via citogenética torna-se crucial. Esta seleção pode ser efetuada eliminando os tipos aberrantes em linhas puras de espigas isoladas, além da avaliação do índice meiótico (Frizon et al., 2017).

Outras informações podem ser acessadas pela frequência de micronúcleos em tétrades. De acordo com revisão de Toniazzo et al. (2018), os micronúcleos são anormalidades que se formam, principalmente, durante a anáfase/telófase da meiose, originando-se de fragmentos cromossômicos ou mesmo de cromossomos inteiros devido a quebras, aneuploidias ou ainda à segregação cromossômica desigual, onde os cromossomos retardatários formam massas de cromatina isoladas do grupo principal. Quando os micronúcleos ocorrem na telófase da primeira divisão meiótica, podem 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. O mais drástico é nesse último caso, pois se permanecerem até a fase do desenvolvimento de grão de pólen, podem 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, embora muitas vezes a transferência gênica pode ser limitada pelas barreiras interespecíficas, a compreensão e o estudo detalhado das relações biológicas entre as espécies, bem como a análise citogenética tornam-se essenciais para determinar qual o procedimento mais adequado para a obtenção dos híbridos, fazendo com que um programa de melhoramento tenha mais chances e sucesso de exploração dos recursos genéticos disponíveis.

Considerações finais

Os trigos sintéticos são fontes promissora de genes de importância agrônoma, tanto para estresses bióticos como abióticos. Quando são retrocruzados com cultivares comerciais de trigo e/ou diferentes genótipos, devem ser intensivamente selecionados, uma vez que esse novo material vegetal poderá ser incorporado nos programas de melhoramento de trigo, visando ao desenvolvimento de novas cultivares. Nesses casos, a seleção dos genitores e das populações segregantes, deve ser realizada por métodos de melhoramento genético clássico, associados ao cito-moleculares, pois permitem analisar, mediante testes de progênies, a influência do genótipo quanto à ocorrência de pareamento cromossômico desigual, inviabilidade polínica e arquitetura da planta e demais atributos morfo-agrônomicos.

Referências

ARRAIANO, L. S.; WORLAND, A. J.; ELLERBROOK, C.; BROWN, J. K. M. Chromosomal location of a gene for resistance to *septoria tritici* blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat 'Synthetic 6x'. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 103, n. 5, p. 758-764, 2001.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A.C. Parental selection strategies in plant breeding programs. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, n. 4, p. 211-222, 2007.

BIBI, A. S.; AJMAL, A.; RASHEED, A.; GUL-KAZI A.; A. MUJEEB-KAZI. High molecular weight (HMW) glutenin subunit compositions of the Elite-II synthetic hexaploid wheat sub-set (*Triticum turgidum* × *Aegilops tauschii*; 2n=6x=42; AABBDD). **Plant Genetic Resources**, v. 10, n. 1, p. 1-4, 2012.

BRAMBATI, A. **Viabilidade polínica e hibridização genômica in situ aplicada ao melhoramento de triticale**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

BRAMMER, S. P. **A citogenética na caracterização genômica do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 8 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 31). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40649/1/p-do31.pdf>>.

BRAMMER, S. P.; SCAGLIUSI, S. M. M.; BONATO, A. L.; TORRES, G. A. M.; CONSOLI, L.; NHANI JUNIOR, A. Biotecnologia aplicada à cultura do trigo In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 453-488.

BRAMMER, S. P.; VASCONCELLOS, S.; POERSCH, L. B.; OLIVEIRA, A. R.; VIDAL, A. C. B. Genomic in situ hybridization in Triticeae: a methodological approach In: ANDERSEN, S. B. (Ed.). **Plant breeding from laboratories to fields**. London: InTechOpen, 2013. p. 3-22.

BRASILEIRO-VIDAL, A. C.; GUERRA, M. Citogenética molecular em cereais. In: BRAMMER, S. P.; IORCZESKI, E. J. (Org.). **Atualização em técnicas celulares e moleculares aplicadas ao melhoramento genético vegetal**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. p. 277-298.

CARDOSO, M. B. **Análises citogenéticas em linhagens sintéticas de *Triticum aestivum* L. em Thell. (*T. durum* L. x *Aegilops tauschii* Coss) e seus cruzamentos com cultivares de trigo, visando a introgressão de resistência à ferrugem da folha**. 2007. 100 f. Tese (Doutorado em Genética

e Biologia Molecular) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CAZAL-MARTÍNEZ, C. C.; CHÁVEZ, A. R.; REYES-CABALLERO, Y. M.; KOHLI, M.M. Evaluation of synthetic hexaploid wheats for resistance to Wheat Blast disease. **Mexican Journal of Phytopathology**, v. 37, n. 1, p. 35-49, 2019.

CRUZ, M. F. A.; PRESTES, A. M.; MACIEL, J. L. N.; SCHEEREN, P. L. Resistência parcial à brusone de genótipos de trigo comum e sintético nos estádios de planta jovem e de planta adulta. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 1, p. 24-31, 2010.

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.

FRIZON, P. **Caracterização de trigo sintético à Giberela (*Gibberella zeae*) (SCHW.) Petch, índice meiótico e diversidade genética**. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

FRIZON, P.; BRAMMER, S. P.; LIMA, M. I. P. M.; CASTRO, R. L. D.; DEUNER, C. C. Genetic stability in synthetic wheat accessions: cytogenetic evaluation as a support in breeding programs. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, e20160314, 2017.

HANIF, U.; RASHEED, A.; KAZI, A.G.; AFZAL, F.; KHALID, M.; MUNIR, M.; MUJEEB-KAZI, A. Analysis of genetic diversity in synthetic wheat assemblage (*T. turgidum* x *Aegilops tauschii*; 2n=6x=42; aabbdd) for winter wheat breeding. **Cytologia**, v.79, n. 4, p. 485–500, 2014.

JAFARZADEH, J.; BONNETT, D.; JANNINK, J. L.; AKDEMIR, D.; DREISIGACKER, S.; SORRELLS, M. E. Breeding value of primary synthetic wheat genotypes for grain yield. **PLoS One**, v. 11, p. 62-86, Sep. 2016.

KATO, A.; VEGA, J. M.; FANGPU, H.; LAMB, J. C.; BIRCHLER, J. A. Advances in plant chromosome identification and cytogenetic techniques. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 8, n. 2, p. 148-154, 2005.

LAZAR, M. D.; WORRALL, W. D.; PETERSON, G. L.; PORTER, K. B.; ROONEY, L. W.; THULEEN, N. A. Registration of 'TAM 110' wheat. **Crop Science**, v. 44, n. 1, p. 355-357, 2004.

MARCUSSEN, T.; SANDVE, S. R.; HEIER, L.; SPANNAGL, M.; PFEIFER, M.; JAKOBSEN, K. S.; WULFF, B. B. H.; TEUERNAGEL, B.; MAYER, K. F. X.; OLSEN, O. Ancient hybridizations among the ancestral genomes of bread wheat. **Science**, v. 345, n. 1250092, p. 288-291, 2014.

McFADDEN, E. S.; SEARS, E. R. The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. **Journal of Heredity**, v. 37, n. 3, p. 81-89, 1946.

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 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.

MUJEEB-KAZI, A.; DELGADO, R.; CORTES, A.; CANO, S.; ROSAS, V.; SANCHEZ, J. Progress in exploiting *Aegilops tauschii* for wheat improvement. **Annual Wheat Newsletter**, v. 50, p. 79-88, 2004.

MUJEEB-KAZI, A.; GUL, A.; FAROOQ, M.; RIZWAN, S.; AHMAD, I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 5, p. 391-398, 2008.

MUJEEB-KAZI, A.; KIMBER, G. The production, cytology and practicality of wide hybrids in *Triticeae*. **Cereal Research Communications**, v. 13, n. 2, p. 111-124, 1985.

OGBONNAYA, F. C.; ABDALLA, O.; MUJEEB-KAZI, A.; KAZI, A. G.; XU, S. S.; GOSMAN, N.; LAGUDAH, E. S.; BONNETT, D.; SORRELLS, M. E.; TSUJIMOTO, H. Synthetic hexaploids: harnessing species of the primary gene pool for wheat improvement. **Plant Breeding Review**, v. 37, p. 35-122, 2013.

PEREIRA, H. S.; SANTOS, J. B.; ABREU, A. F. B.; COUTO, K. R. Informações fenotípicas e marcadores microsatélites de QTL na escolha de populações

segregantes de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 707-713, 2007.

PEÑALOZA, A. D. P. S.; POZZOBON, M. T. Caracterização citogenética de germoplasma vegetal. In: NASS, L. L. (Ed.). **Recursos genéticos vegetais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. p. 308-342.

RASHEED, A.; MAHMOOD, T.; GUL-KAZI, A.; GHAFOR, A.; MUJEEB-KAZI, A. Allelic variation and composition of HMW-GS in advanced derivatives from D- genome synthetic hexaploid × Bread wheat cross combinations. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2012.

ROGATTO, S. R.; RAINHO, C. A. Citogenética molecular. In: ROGATTO, S. R. **Citogenética sem risco: biossegurança e garantia de qualidade**. São Paulo: FUNPEC, 2000. p. 134-152.

RUDD, J. C.; HORSLEY, R. D.; MCKENDRY, A. L.; ELIAS, E. M. Host plant resistance genes for Fusarium Head Blight: sources, mechanisms and utility in conventional breeding. **Crop Science**, v. 41, n. 3, p. 620-627, 2001.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SÓ E SILVA, M. BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 427-452.

SCHNEIDER, A.; MOLNAR, L.; LANG, M. Utilisation of Aegilops (goat grass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. **Euphytica**, v. 163, n. 1, p. 1-19, 2008.

SKOVMAND, B.; RAJARAM, S.; RIBAUT, J. M.; HEDE, A. R. Wheat genetic resources. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MACPHERSON, H. G. **Bread wheat: improvement and production**. Rome: FAO, 2002. p. 89-101.

TECHIO, V. H.; DAVIDE, L. C.; PEDROZO, C. A.; PEREIRA, A. V. Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milheto e híbridos interespecíficos (capim-elefante x milheto). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 28, n. 1, p. 7-12, 2006.

TONIAZZO, C.; BRAMMER, S. P.; CARGNIN, A.; WIETHÖLTER, P. **Ocorrência de micronúcleos e inferência da instabilidade genética em acessos de**

trigos sintéticos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018. 18p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 88). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177641/1/ID44329-2017BPDO88.pdf>>.

TRETHOWAN, R.; MUJEEB-KAZI, A. Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. **Crop Science**, v. 48, n. 4, p.1255–1265, 2008.

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.

YILDIRIM, M.; ESER, V.; BEDŐ, Z.; BAĞCI, S. A.; MOLNÁR-LÁNG, M.; LÁNG, L. Synthetic wheat: an indispensable pre-breeding source for high yield and resistance to biotic and abiotic stresses in wheat improvement. **Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics**, v. 3, n. 2, p. 45-52, 2017.

ZANOTTO, M.; BRAMMER, S. P.; JUNIOR, A. N.; SCAGLIUSI, S. M. M. Viabilidade polínica como seleção assistida no programa de melhoramento genético de triticales. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 2078-2082, 2009. Número especial.

Embrapa

Trigo

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 15432