

**INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE NA CULTURA DO TRIGO POR MEIO DA
MODELAGEM MISTA**

Karollyne Portela Korte¹; Jean Newton Marques¹; Giovani Facco²; Juliana Parisotto Poletine¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agronômicas, Campus Regional de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR.

E-mail: karollyneportela@hotmail.com; jeanmarques.n@gmail.com; jppoletine@uem.br;

²Biotrigo Genética - Estrada do Trigo, 1000. Bairro São José - CEP 99052-160, CP 3100. Passo Fundo, RS.

E-mail: biotrigo@biotrigo.com.br

RESUMO: O Paraná é o maior estado produtor de trigo do País. Nos programas de melhoramento genético, nota-se que as novas cultivares possuem capacidade produtiva superior a 25% ou mais que as cultivadas na década de 70, principalmente devido aos estudos de dissimilaridade genética e adaptabilidade e estabilidade, com informações sobre a interação genótipo x ambiente permitindo indicação comercial de uma cultivar adaptada às condições da região. O objetivo desta revisão de literatura foi compilar estudos sobre a interação genótipo x ambiente de genótipos de trigo, no estado do Paraná, via modelagem mista, em função da escassez de publicações. Verificou-se que os dados são submetidos à Análise de Deviance (ANADEV) e significância via teste da razão de verossimilhança (LRT) para os efeitos de genótipos e interações. Posteriormente, realiza-se a análise de estabilidade e adaptabilidade dos genótipos utilizando-se o método da média harmônica da *performance* relativa do valor genotípico (MHPRVG) por meio do aplicativo Selegen REML/BLUP. Os artigos estudados permitiram concluir que as estimativas do REML/BLUP discriminam os componentes de variância e fornecem o posicionamento das predições genotípicas dos genótipos. Conclui-se também que as predições são coerentes e se aproximaram do valor fenotípico verdadeiro.

PALAVRAS-CHAVE: adaptabilidade e estabilidade, dissimilaridade genética, *Triticum aestivum* L.

**GENOTYPE x ENVIRONMENT INTERACTION IN WHEAT CROP BY USING
MIXED MODELING**

ABSTRACT: Parana is the largest wheat producing state in Country. In crop breeding programs, it is noted that the new cultivars show yield grain capacity greater than 25% or more than those cultivated in 70s decade, mainly due to studies of genetic dissimilarity and adaptability and stability, with information on genotype x environment interaction allowing commercial indication of a cultivar adapted to the region conditions. The aim of this literature review was to compile studies about genotype x environment interaction of wheat genotypes in Parana State, through mixed modeling, due to papers scarcity. It was verified that data are submitted to Deviance Analysis (ANADEV) and significance via likelihood ratio test (LRT) for the effects of genotypes and interactions. Subsequently, it is conducted genotypes stability and adaptability analysis using the method of harmonic mean of the relative *Performance* of genotypic value (MHPRVG) using Selegen REML/BLUP application. The articles studied allowed us to conclude that REML/BLUP estimates discriminate variance components and provides the positioning of genotypes genotypic predictions. It is also concluded that the predictions are coherent and approached to the true phenotypic value.

KEY WORDS: adaptability and stability, genetic dissimilarity, *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) compõe a base da alimentação da sociedade humana e animal no mundo todo (Bressan, 2015). O Brasil é avaliado como um dos grandes importadores dessa espécie (Possebon, 2017) já que o consumo nacional de trigo em 2018 foi em torno de 8,4 milhões (Abitrigo, 2018), não suprimindo a demanda interna e a maior parte da produção do Brasil advém da região Sul (Oliveira Neto e Santos, 2017).

Na safra de 2019, a área colhida de trigo no mundo foi de 218,7 milhões de hectares, tendo uma produção de 771,5 milhões de toneladas (Conab, 2019a). Em nível nacional, a área semeada foi de 2040,5 mil hectares com 5154,7 mil toneladas de produção. No estado do Paraná a área destinada à semeadura da cultura na safra 2019 foi de 1023,7 mil hectares e a produção de 2129,3 mil toneladas (Conab, 2020).

Considerada a primeira espécie a ser domesticada pelo homem, sua aptidão alimentícia proporcionou a cultura, espalhar-se por vários territórios agrícolas do mundo, tendo como centro de origem e domesticação do Irã - Iraque até a Turquia, além das montanhas do sudoeste do Mar Mediterrâneo (Vesohoski et al., 2011).

O melhoramento genético destaca-se por ser uma das principais ferramentas que possibilitam o aumento da produção de alimentos (Ramalho et al., 2012). Na cultura do trigo, o melhoramento iniciou-se de fato no Brasil em 1919 (Caierão et al., 2014), com o estabelecimento pelo Ministério da Agricultura, de estações experimentais destinadas à criação de cultivares (Tavares et al., 2011). Houve o aproveitamento de metodologias que possibilitassem alterar a frequência dos genes de acordo com a característica de interesse econômico (Franco e Carvalho, 2007).

O melhoramento possui como embasamento a seleção artificial de características que estão catalogadas a muitos genes ou de herança multifatorial, por meio da observação de seus fenótipos. Para isso, torna-se fundamental a existência da variabilidade genética entre as populações (Souza e Ramalho, 2001). Basicamente, os programas de melhoramento genético para a cultura do trigo reúnem esforços para a obtenção de genótipos com tolerância à acidez do solo, resistência às principais doenças do trigo, aperfeiçoamento do tipo agrônômico, potencial produtivo e qualidade tecnológica, buscando a criação de cultivares com bom desempenho agrônômico e de qualidade industrial (Oliveira Neto e Santos, 2017).

O aumento da produção de trigo no Brasil requer o emprego de cultivares bem adaptadas aos diversos ambientes e no melhoramento genético, o êxito dos cruzamentos depende da segregação e das características agrônômicas, associadas à redução do número de

parentais pela seleção de cultivares divergentes com alta capacidade combinatória (Ribeiro et al., 2011).

Selecionar genótipos com características favoráveis frente às testemunhas é tarefa de difícil aplicação e condução já que o complexo genético da planta exige foco no indivíduo, condução de ensaios em grande escala e muitos anos de experimentos. O ambiente é um grande influenciador sobre caracteres quantitativos, podendo haver alterações nos indivíduos entre anos e entre locais (Possebon, 2017).

As bases genéticas de caracteres quantitativos, como a produtividade, têm sua expressão associada a muitos genes de pequeno efeito e assim, aumenta sua dificuldade na seleção direta pela interação dos diferentes componentes da produtividade e o forte efeito do ambiente (Valério et al., 2008).

O cultivo extensivo da espécie, contemplando ambientes diversificados, ocasiona uma resposta diferente dos genótipos (Duarte e Vencovsky, 1999). Assim, a interação entre genótipos e ambientes (G x A) é um dos maiores desafios no melhoramento de plantas, tanto nos procedimentos de seleção quanto na recomendação de cultivares, sendo que os melhoristas normalmente procuram por genótipos estáveis e com melhor desempenho em relação a um determinado caráter (Cruzet al., 2014). O entendimento desse fenômeno torna-se imprescindível aos programas de melhoramento em que se busca minimizar a inconsistência das características relacionadas à produtividade diante da variação ambiental, para recomendações mais acertadas (Duarte e Vencovsky, 1999). A interação significativa também reduz a correlação entre os valores genotípicos e fenotípicos, diminuindo os ganhos genéticos com a seleção e dificultando o trabalho dos melhoristas (Nunes, 2000).

Conforme Polizel et al. (2013), a expressão do potencial produtivo das culturas é função dos componentes genético e ambiental e da interação entre ambos. Isso dificulta a seleção e a avaliação do potencial produtivo dos genótipos. Como consequência, é necessário realizar extensiva avaliação para a identificação de genótipos superiores em produtividade e estabilidade de produção, em certa amplitude de ambientes que representem os efeitos limitantes do clima, solo e das pragas e doenças.

A interação G x A trata-se de um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado por cada genótipo, nos caracteres quantitativos (Yan e Kang, 2002). No entanto, a análise da interação G x A não proporciona informações completas e exatas sobre o comportamento de cada genótipo em várias condições ambientais, devendo ser realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, que são

fundamentais para identificação de cultivares com comportamento previsível, responsivas às variações ambientais em condições específicas e com amplitude (Cruz et al., 2014).

As metodologias para análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários ambientes e são importantes no caso da existência da interação $G \times A$, sendo complementares às análises de variância individual e conjunta, com dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes (Lavoranti, 2003). Metodologias de seleção que incorporam a análise de adaptabilidade e estabilidade na estatística são mais eficientes quando comparadas às que consideram apenas a produtividade como critério de seleção (Rosado et al., 2012).

Diversos métodos para conferir a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica têm sido desenvolvidos e/ou aprimorados. Tais procedimentos se baseiam em análise de variância, regressão linear, regressão não linear, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas, sendo que a diferença entre eles baseia-se nos conceitos e procedimentos biométricos para medir a interação $G \times A$ (Bastos et al., 2007).

O método de Lin e Binns, considerado o mais clássico e de maior utilidade, fornece resultados que não são interpretados diretamente como valores genéticos e então, não permitem computar o ganho genético no caráter composto pela produtividade, estabilidade e adaptabilidade (Bastos et al., 2007).

A análise realizada via metodologia de modelos mistos, chamada método REML/BLUP foi proposta para várias culturas e sua aplicação tem se disseminado na análise de informações. O procedimento REML (máxima verossimilhança restrita) estima componentes de variância necessários ao modelo e o BLUP (melhor preditor linear não viesado) estima o valor genotípico (Torres et al., 2015).

O método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG), proposto por Resende (2007b), baseia-se na análise dos valores genéticos por meio de modelos mistos e permite efetuar a seleção de genótipos por meio da consideração simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

Com base no exposto, o objetivo desta revisão de literatura foi avaliar a utilização da modelagem mista, principalmente, o método da média harmônica da *Performance* relativa do valor genotípico (MHPRVG) predito em programas de melhoramento na cultura do trigo.

Aspectos gerais e histórico da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo constitui-se em um dos cereais mais abundantes do mundo, responsável por ocupar grande parte das terras cultivadas. Possui ampla versatilidade, o que faz com que a espécie seja adaptada às mais diversas condições (Embrapa, 2018). Esse aprimoramento genético permite ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivado desde regiões de clima desértico, em alguns países do Oriente Médio, até regiões com alto índice de precipitação, como na China e Índia (Oliveira Neto e Santos, 2017). É uma opção para rotação de culturas e importante para manter as produtividades elevadas nas culturas de verão (Conab, 2019b).

O trigo pertencente à família Poaceae, tribo Triticeae, subtribo Triticinea e gênero *Triticum* (Scheeren et al., 2011). O gênero é de origem relativamente recente, sendo possível a hibridação entre seus integrantes. As hibridações permitiram a introgressão gênica e constituem valioso recurso genético para a prospecção de genes e posterior uso no melhoramento do trigo cultivado (Brammer, 2007).

A subtribo compreende quinze espécies, reunidas em três grupos, denominados em função do seu número de cromossomos, sendo $n=7$, a série diplóide constituída por 14 cromossomos, tetraplóide por 28 cromossomos e hexaplóide por 42 cromossomos (Sleper e Poehlman, 2006). As espécies hexaplóides de trigo contêm três conjuntos distintos de cromossomos, dos quais dois são derivados de um trigo tetraplóide (provavelmente *T. turgidum*) e um derivado de um trigo diplóide (*T. tauchii*). Essas espécies tiveram evolução convergente, de modo que os cruzamentos realizados entre elas resultam em híbridos completamente férteis (Breiman e Graur, 1995). Atualmente, duas espécies de trigo são cultivadas em grande escala: o trigo duro tetraplóide (*Triticum turgidum* L.) e o trigo comum hexaplóide (*Triticum aestivum* L.). Ambas apresentam ciclo anual, hermafroditismo e reprodução por autogamia (Brammer et al., 2008).

As regiões mais frias da Europa foram um convite para a expansão do cultivo do trigo, como a Rússia e a Polônia, e foram esses povos que no século XV o levaram até as Américas (Scheeren et al., 2003). Os trigos antigos possuíam rusticidade, permitindo que se adaptassem aos estresses bióticos e abióticos. Já os trigos modernos, são de porte baixo, apresentando grande redução na incidência de acamamento e potencial mais elevado de produtividade. Essa transição dentro da cultura do trigo se deve a adição de novos genes de resistência às doenças, pragas e aos estresses abióticos que tem proporcionado significativo aumento no potencial produtivo da cultura (Caierão et al., 2014).

A espécie constitui importante representação na composição de sistemas de produção agrícola sustentáveis, não apenas pelos lucros obtidos da venda de grãos, mas também pelos melhoramentos técnicos indiretos acrescentados como: alternativa para sucessão e rotação em sistemas de produção, contribuindo para o manejo integrado de pragas, doenças e invasoras; o controle da erosão do solo e a reciclagem de nutrientes (Borém e Scheeren, 2015).

Ecofisiologia da cultura do trigo

A planta de trigo apresenta coloração verde-brilhante, com porte variando de 0,5 metros a 1,5 metros de altura. No início do ciclo a planta aparenta um capim qualquer, quando atinge o período de maturação apresenta coloração dourada (Castro e Kluge, 1999). O sistema radicular é do tipo fasciculado e as folhas são compostas pela bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas na base da lâmina, dispostas de forma alternada, formando um ângulo de 180° entre uma folha e outra. Os colmos são eretos e finos apresentando nós, entrenós, pedúnculo e a espiga. A inflorescência é uma espiga composta, dística, formada por espiguetas alternadas e opostas no ráquis. A espiga pode ter uma grande variação quanto à forma, densidade, comprimento e largura. Cada espiguetas é constituída por flores, de 3 a 9, dispostas alternadamente e presas à ráquis. Na base da espiguetas estão duas brácteas denominadas glumas. Cada flor é constituída por uma lema e uma pálea, na qual, entre estas duas estruturas estão o estigma e as três anteras (Scheeren, et al., 2003).

O grão é um fruto do tipo cariopse, seco e indeiscente podendo variar em forma, comprimento e largura. É basicamente dividido em casca, endosperma e gérmen. A composição química do grão de trigo de modo geral, consiste em 67% de amido, 13% de água, 13% de proteína, 2% de óleo, 2% de fibras e 2% de minerais (Scheeren et al., 2011).

Segundo Large (1954), os estádios fenológicos da cultura do trigo se dividem em perfilhamento, alongação, espigamento e maturação. A faixa ideal de temperatura para o desenvolvimento da cultura do trigo é de aproximadamente 15 °C a 25 °C para perfilhamento e desenvolvimento das folhas. Há necessidade de umidade mínima de 35% a 45% da massa seca de semente, tornando-se mais rápida com o incremento de umidade. Assim em regiões tropicais fica dificultada a obtenção de uma população desejável, pois, devido à alta temperatura do ar, o solo seca rapidamente e atingem temperaturas superiores as máximas toleráveis pela semente.

O perfilhamento é iniciado após a germinação, e nada mais é do que o desenvolvimento de gemas laterais. A profundidade da semente e a temperatura são fatores que influenciam no desenvolvimento dessas gemas na cultura do trigo. O desenvolvimento

inicial da cultura é dependente da parte aérea para o suprimento de nutrientes, se tornando independente apenas quando atingirem três folhas abertas, desenvolvendo assim raízes em sua base (Castro e Kluge, 1999). A folha bandeira é a última folha a nascer e depois a entrar em senescência, capaz de interceptar mais luz do que as folhas baixas. Devido a sua proximidade da espiga, a translocação de nutrientes contribui com cerca de 30 a 50% dos fotoassimilados para o enchimento dos grãos (Domiciano et al., 2010).

O aparecimento das inflorescências é um dos processos mais críticos do ciclo da planta, neste momento completa seu crescimento onde atingiu sua estrutura final e plena área foliar e radicular, realizando sua fecundação dos óvulos. Este momento não coincide com o florescimento, o qual ocorre primeiro no colmo principal e após os afixos por ordem de aparecimento (Mundstock, 1983).

De acordo com o mesmo autor, a fase de fertilização coincide com o início do emborrachamento. Nos cereais com alta percentagem de autofecundação, o pólen de cada flor cai no respectivo estigma, sendo que alguns podem ser levados pelo vento, fecundando outra planta. A fertilização em trigo dá-se praticamente durante o dia (80 a 90% das flores). Em 3 a 4 minutos a flor se abre, mas sua abertura depende das condições de temperatura que é favorável na faixa de 13 °C a 25°C. A presença de chuvas, dias nublados e temperaturas baixas não favorecem abertura das flores.

O processo de fertilização é o mais crítico no desenvolvimento da planta, podendo causar danos severos por frio ou por calor (Borém e Scheeren, 2015). As condições ambientais extremas, como a temperatura, podem prejudicar visivelmente o sucesso da formação dos grãos nas primeiras etapas, que vai desde a fertilização do ovulo até a máxima acumulação da matéria seca nos grãos. A duração desse período vai de 30 a 50 dias variando conforme as condições de temperatura do ar, baixa umidade no solo e dias longos e ensolarados (Embrapa, 2018).

A cultura do trigo no Brasil

O trigo chegou ao Brasil em 1534 e o clima quente dificultou o desenvolvimento da cultura no país, adquirindo importância econômica, em meados do século XVII, quando semeado no Rio Grande do Sul, mas acabou sendo prejudicado pela ferrugem neste período (Oliveira Neto e Santos, 2017). O cultivo deste cereal só retornou por volta de 1920 e a partir de 1940, o trigo expandiu-se nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, os quais se tornaram os maiores produtores (Abitrigo, 2017).

Segundo a Abitrito (2018), pode-se afirmar que as regiões sul, centro-sul e central apresentam-se como as atuais e potenciais regiões tritícolas brasileiras, sendo as duas primeiras responsáveis por aproximadamente 98% da área atualmente cultivada com trigo.

O Brasil possui uma demanda interna superior a sua produção, estando entre os maiores importadores mundiais deste cereal. Na safra de 2015/2016, o país semeou cerca de 2,1 milhões de hectares, alcançando uma produção de 6,7 milhões de toneladas (Oliveira Neto e Santos, 2017). Na safra de 2017 os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná cultivaram área de aproximadamente 1,93 milhões de hectares, obtendo produtividade média de grãos de 2341 kg ha⁻¹ (Conab, 2018).

Além da região sul, tradicionalmente produtora, o trigo tem importância estratégica, na região do Brasil Central: Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Bahia (Oliveira Neto e Santos, 2017), podendo ser produzido em dois sistemas de cultivo, sequeiro e irrigado (Desordi et al., 2012). A diversidade de áreas de cultivo constitui uma solução para diminuir a variação na produção total, devido às condições climáticas em uma região não coincidirem com aquelas de outras regiões (Cargnin et al., 2008). O cultivo do trigo é uma opção para rotação de culturas, necessária para manter as produtividades elevadas nas culturas de verão na região do Brasil-Central (Souza e Ramalho, 2001). Ainda que pouco aproveitada, a região representa expressivo potencial para produção da cultura (Bressan, 2015).

A cultura do trigo no Brasil sempre teve ênfase na pesquisa, com foco para o desenvolvimento do potencial produtivo, que busca melhor arquitetura de planta, maior resistência a doenças e adaptação a estresses causados por organismos vivos ou por oscilações de ambientes (Poletto, 2015). Pesquisas estão sendo realizadas para desenvolver cultivares mais produtivas sem descuidar das características industriais, tão importantes para o País, junto ao fato dessas cultivares serem mais adaptadas a diferentes regiões climáticas, para que dessa forma mais regiões brasileiras possam cultivar o trigo. Estudos evidenciam que existe no Brasil uma vasta área a ser explorada para produção de grãos, especialmente por haver disponibilidade de água para irrigação (Franco e Carvalho, 2007).

A cultura do trigo no Brasil está se consolidando a cada dia, com maior valor frente aos países produtores e exportadores, abalizada nos lucros que a alta produção proporciona, no rendimento e no melhoramento de sua qualidade industrial (Scheeren et al., 2003).

A cultura do trigo no Paraná

A primeira menção ao trigo no estado do Paraná remonta a 1820, lavouras do cereal nos arredores de Curitiba (Oliveira Neto e Santos, 2017). Inicialmente os agricultores aproveitaram as matas recém-desbravadas na parte sul do estado para cultivar trigo, mas estes solos não geraram alta produção devido ao elevado teor de alumínio e baixo nível nutricional do solo (Zagonel et al., 2002).

A adaptação do trigo às condições edafoclimáticas do estado do Paraná, teve início na década de 1970 ao utilizar o melhoramento genético e o desenvolvimento de técnicas eficientes de manejo da cultura (Sangoi et al., 2007). Os avanços genéticos obtidos resultaram no desenvolvimento contínuo de genótipos adaptados às referidas condições de ambiente (Tavares et al., 2011).

Desenvolvendo-se primeiro em Guarapuava, o trigo logo conquistou expressiva relevância também ao norte e oeste do Estado, transformando-se na principal área produtora do cereal no País (Bevilaqua et al., 2003). Como maior produtor nacional do cereal, (Oliveira Neto e Santos, 2017), o Paraná permite que além de sua produção seja empregada na indústria moageira local, a mesma também responda por uma quantia significativa da demanda da região sudeste (Costa et al., 2008).

Segundo Bevilaqua et al. (2003), a região centro-sul do estado do Paraná é diferenciada por apresentar solos menos argilosos, mais ácidos e com maior concentração de alumínio, o que demanda maior carência de calagem. Aliado a isso, o clima é úmido e frio no inverno, sugerindo maior suscetibilidade à geadas e doenças em comparação ao resto do estado, originando maior número de aplicações de fungicidas.

A região norte do estado apresenta temperaturas mais altas e clima mais seco, enquanto a região oeste é mais úmida (Brunetta et al., 2017) e esta instabilidade climática culmina em produção heterogênea (Sangoi et al., 2007). A produção de trigo assim como de qualquer outra cultura é diretamente afetada pelas condições climáticas. A safra de 2017, por exemplo, apresentou produção de trigo no estado do Paraná, com redução em 3%, devido à seca e geadas concentradas na região sul do estado (IBGE, 2018).

As épocas de semeadura indicadas são aquelas com perspectiva de maior produtividade, observando-se o ciclo de cada cultivar. Cada município do Paraná com capacidade tritícola deve seguir as recomendações por meio do Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Oliveira Neto e Santos, 2017).

A expansão da área de cultivo no Estado passou de 85 mil hectares em 1962 para 1098 mil hectares em 2018 (Conab, 2019b). Ganhos genéticos em trigo foram observados nos rendimentos de 739 kg ha⁻¹ na década de 1950, para 2495 kg ha⁻¹ no período de 2010 a 2013 (Borém e Scheeren, 2015). Os avanços genéticos obtidos no decorrer dos anos demonstram o desenvolvimento contínuo de genótipos adaptados às condições de ambiente, comprovando que os programas de melhoramento de trigo estão sendo eficientes (Tavares et al., 2011).

Melhoramento genético na cultura do trigo

As dificuldades encontradas durante a produção de trigo se dão em geral em virtude do aparecimento e à severidade de doenças, as quais estão ligadas às adversidades climáticas (Kuhnem et al., 2009). A evolução de tecnologia pela pesquisa para a cultura do trigo no Brasil continua progredindo ano após ano. Na área de melhoramento genético, nota-se que as novas cultivares possuem capacidade de produção superior a 25% ou mais que as cultivadas na década de 70 (Bressan, 2015).

A produção do trigo apresenta aumento crescente ano a ano, devido ao uso de alta tecnologia. Tal aumento deve ser observado pela relação existente a partir da introdução de novos genótipos e a utilização de sementes de elevada qualidade (Sangoi et al., 2007). Entre as principais empresas detentoras de material genético na região sudoeste do Paraná, destacam-se a Embrapa, Coodetec, OR Sementes e Biotrigo Genética (Bevilaqua et al., 2003).

O sucesso comercial de uma cultivar depende, necessariamente, de seu desempenho agrônomo e, portanto, o maior desafio é identificar uma linhagem que apresente ótimo desempenho e estabilidade sob diferentes condições ambientais (Caierão et al., 2006).

A escolha de genitores para formação de populações segregantes é uma das principais decisões que o melhorista enfrenta (Bertan et al., 2006). A eficiência do melhoramento genético depende de duas ações do geneticista, a criação e a identificação de genótipos superiores. Em ambas as ações, a seleção desempenha papel fundamental, na definição dos cruzamentos a serem realizados, visando à criação de novos genótipos e na indicação dos indivíduos superiores a serem usados comercialmente. A seleção genética tem sido praticada com base em dados fenotípicos avaliados a campo (Resende et al., 2008). As estimativas da repetibilidade dos efeitos da capacidade geral de combinação possibilitam acelerar os programas de melhoramento conduzidos na região central do Brasil, efetuando-se seleção tanto no verão quanto no inverno (Souza e Ramalho, 2001).

Outro fator relevante refere-se ao estudo da interação G x A, pois a seleção e a recomendação de genótipos mais produtivos são objetivos básicos dos programas de melhoramento genético de qualquer espécie cultivada. O processo de seleção é frequentemente, realizado pelo desempenho dos genótipos em diferentes ambientes (ano, local, época de semeadura). Contudo, a decisão do lançamento de novas cultivares normalmente é dificultada pela ocorrência da interação G x A significativa (Carvalho et al., 2002). Essa existência da interação, para Cruz e Regazzi (1994), está associada a dois fatores: simples que é proporcionado pela diferença entre genótipos; e complexo que é dado pela ausência de correlação entre os genótipos.

O fenótipo é a expressão da constituição genética do genótipo, do efeito de ambiente e resultado da ação conjunta dos efeitos genotípicos e do ambiente em que a planta está exposta, bem como da interação G x A. A associação entre dois caracteres que pode ser diretamente mensurado, em um grupo de indivíduos é denominada de correlação fenotípica (Pelegri, 2017).

A interação G x A reduz a correlação entre o fenótipo e o genótipo. A correlação baixa indica que o genótipo superior em um ambiente, normalmente, não terá o mesmo desempenho em outro ambiente. A seleção com base no componente da interação G x A pode eliminar constituições genéticas altamente ajustadas à ambientes específicos, não interferindo apenas na recomendação de cultivares, mas também dificultando o trabalho do melhorista, que precisa adotar critérios diferenciados para selecionar genótipos superiores e usar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético (Cruz e Regazzi, 2001).

Interação genótipo x ambiente (G x A)

O genótipo de uma planta é definido por genes hereditários e a expressão desses genes em um determinado ambiente é denominada fenótipo. A diversidade ambiental seja por latitude, altitude e demais fatores, influenciam na produtividade e outras características que são determinadas por efeitos genéticos, ambientais e da interação entre eles (Hall, 2001).

Os fatores ambientais que podem afetar o desempenho dos genótipos, podem ser previsíveis: fotoperíodo, tipo de solo, fertilidade, toxicidade por alumínio, época de semeadura e práticas agrícolas; e imprevisíveis: distribuição pluviométrica, umidade relativa do ar, temperaturas e presença de patógenos/insetos (Borém e Miranda, 2013).

A interação G x A é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado pelos genótipos, quando submetidos a mais de um

ambiente. Sua magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético com a seleção (Peluzio et al., 2012).

A avaliação desta interação torna-se de grande importância no melhoramento, pois, quando ocorre, há possibilidades do genótipo com melhor comportamento em determinado ambiente não se repetir quando em outro ambiente, influenciando o ganho de seleção e dificultando a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (Cruz et al., 2004). Assim sendo, Duarte e Vencovsky (1999) afirmam que o entendimento deste fenômeno torna-se imprescindível aos programas de melhoramento que procuram minimizar a inconsistência das características relacionadas à produtividade frente à variação ambiental, para recomendações mais acertadas.

Devido à presença universal da interação $G \times A$ em características quantitativas, avaliações genótípicas em pelo menos, estágios avançados de melhoramento de plantas são executados em experimentos planejados e ambientes múltiplos. Os principais objetivos destes experimentos são comparar o desempenho genotípico em duas interferências básicas: ampla interferência sobre a *Performance* geral de um genótipo (através dos ambientes); e ambiente específico ou interferência restrita sobre a *Performance* de um genótipo dentro de um ambiente específico; para estimar o componente de interação $G \times A$, calibrar a herdabilidade e seu impacto da seleção, selecionar sites testes e macro ambientes, identificar genótipos especificamente adaptados para ambientes alvos e estabelecer objetivos de melhoramento genético (Yan e Kang, 2002).

Para a adequada recomendação de genótipos, é necessária a avaliação dos mesmos em diferentes ambientes, sendo anos, locais, épocas de semeadura, nível tecnológico ou qualquer outro fator que não seja genético e que afete a expressão fenotípica. Por este procedimento, pode-se quantificar a interação $G \times A$ com isso, indicar as cultivares mais adequadas aos variados ecossistemas (Rossmann, 2001).

Ao se avaliar a interação, pode-se chegar a três situações (Ramalho et al., 1993): ausência de interação, interação simples e interação complexa. As duas primeiras não causam problemas para a seleção e a recomendação de cultivares aos agricultores, pois não alteram a classificação das cultivares nos vários ambientes, porém, a terceira, por alterar o ordenamento das cultivares frente aos ambientes avaliados, dificulta esta seleção e recomendação.

Ainda segundo Ramalho et al. (1993), considerando número maior de ambientes e de cultivares, a presença de interação complexa quase sempre indica a existência de cultivares

especificamente adaptadas a ambientes particulares. Isso impede que a recomendação de cultivares possa ser feita de maneira generalizada, sendo necessárias medidas que controlem ou minimizem os efeitos da interação para proceder às recomendações mais seguras.

Existem três modos de atenuar a interação G x A: identificar cultivares específicas para cada ambiente; realizar o zoneamento ecológico ou estratificação ambiental e identificar cultivares com maior estabilidade fenotípica. Essa última opção é a que tem sido mais utilizada, sendo aplicada nas mais variadas situações, requerendo estudos sobre a *Performance* genotípica, com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (Vencovsky e Barriga, 1992; Cruz et al., 2004).

O comportamento de genótipos pode ser elucidado pelo estudo G x A com sua partição em parâmetros de adaptabilidade (responsividade ao estímulo ambiental) e estabilidade produtiva (previsibilidade de comportamento). Em particular, a estabilidade específica de genótipos a vários ambientes possibilita tirar proveito desse efeito estando, via de regra, associado às elevadas produtividades. Pela mesma razão, sob o ponto de vista de recursos genéticos, a exploração dessa interação feita por meio do zoneamento ecológico é interessante para manter a variabilidade genética da espécie, principalmente, porque o trigo cultivado possui base genética estreita. Contudo, para que seja possível aproveitar esses efeitos positivos, é preciso dispor de métodos estatísticos adequados para se estimar e explorar a interação, permitindo assim recomendações regionalizadas (Maia et al., 2013).

Adaptabilidade e estabilidade fenotípica

Adaptabilidade designa a capacidade potencial de genótipos assimilarem positivamente o estímulo ambiental. Estabilidade é a capacidade de genótipos evidenciarem desempenho fenotípico mais constante em função das variações ambientais em que são submetidos. O genótipo adaptado possui o conjunto gênico que melhor se adaptou ao ambiente proposto, deixando maior número de descendentes (Peixoto, 2013).

Estudos a respeito da interação G x A, apesar de relevante importância para o melhoramento, não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais (Cruz et al., 2004).

A manifestação fenotípica para determinada característica é o resultado da ação do genótipo e do meio ambiente. Entretanto, quando se consideram vários ambientes, pode-se detectar um componente adicional, causado pela interação G x A. Sua avaliação é de grande importância no melhoramento genético, pois ela pode indicar que o melhor genótipo em um

ambiente não o ser no outro (Cruz e Regazzi, 2001). Esse fato torna difícil recomendar combinações genóticas favoráveis nas diferentes regiões do país.

Segundo Cruz e Regazzi (2001), estratégias que permitem identificar as combinações genóticas de comportamento previsível e que respondem positivamente às variações ambientais favoráveis são denominadas, respectivamente, de análises de adaptabilidade e estabilidade. Estudos sobre a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica permitem particularizar os efeitos da interação $G \times A$ ao nível do genótipo e do ambiente, identificando a contribuição relativa de cada um para a interação total. Inúmeras técnicas estatísticas e genéticas têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor quantificar este efeito. Entretanto, as posições críticas dos estatísticos, que atuam em programas de melhoramento genético, referem-se à falta de uma análise criteriosa da estrutura da interação $G \times A$ (Duarte e Vencovsky, 1999).

As metodologias para as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários ambientes. Tais metodologias são fundamentadas na existência da interação $G \times A$. Assim, esses procedimentos são complementares ao da análise de variância individual e conjunta, com dados experimentais resultantes de ensaios realizados em diversos ambientes (Lavoranti, 2003).

A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, principalmente daqueles relacionados ao número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Deve-se, considerar que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (Cruz et al., 2004).

Quando um genótipo não possui comportamento previsível em função dos ambientes ele pode eventualmente ter resposta favorável a ambientes específicos (adaptabilidade preferencial ou específica para determinados ambientes), o que sugere seleção regional. Por essas definições, necessariamente os desvios em relação ao modelo proposto (linear ou não) devem ser significativos. Caso contrário (desvios do modelo não significativos) há falta de adaptabilidade geral aos ambientes (Arantes, 2013).

Dentre os métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação $G \times A$ (Wricke, 1965); regressão linear simples (Eberhart e Russel, 1966; Perkins e Jinks, 1968) e múltipla (Cruz et al., 1989; Storck e Vencovsky, 1994); regressão quadrática (Brasil e Chaves, 1994); modelos não lineares (Toler e Burrows, 1998; Silva, 1998; Rosse e Vencovsky, 2000) e não paramétricos, como a ordem de classificação genotípica (Hühn, 1996); métodos multivariados, como ACP (Crossa,

1990), análise de agrupamento (Hanson, 1994), análise fatorial de correspondências (Hill, 1974) e análise de coordenadas principais (Westcott, 1987), além de métodos que integram a análise comum de variância (método univariado) com análise de componentes principais (método multivariado), como é o caso da análise AMMI, sugerida por Gauch e Zobel (1996).

O método de Eberhart e Russel (1966), baseado em regressão linear, é um dos métodos mais utilizados para estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. Neste processo, um índice ambiental é calculado através da subtração entre a média do ambiente (média de todos os genótipos neste ambiente) menos a média geral (média geral de todos os genótipos em todos ambientes). Usando um índice ambiental como abscissa X e o valor observado do genótipo em determinado ambiente como ordenada Y, utiliza-se uma regressão linear para cada genótipo testado ($Y = \alpha + bX$). O valor de b (ângulo) estima a adaptabilidade do genótipo. Podendo responder pouco, de forma mediana e de forma acentuada à melhoria de ambiente, sendo mais indicados para ambientes superiores.

O método de Lin e Binns (1988) é usado para estudar a interação G x A e baseia-se nas análises não paramétricas. Nesta metodologia, o desempenho dos acessos é quantificado pelo índice de estabilidade P_i , que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média de um acesso para um dado ambiente e a resposta máxima para o mesmo ambiente, em todos os ambientes avaliados. Dessa forma, o quadrado médio menor indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor o valor de P_i , menor será o desvio em torno da produtividade máxima, assim, maior estabilidade está relacionada, obrigatoriamente, com alta produtividade (Daher et al., 2003). Lin e Binns (1988) definiram como medida para estimar a *Performance* genotípica (parâmetro P_i), o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Este método pondera os desvios de comportamento das cultivares nos ambientes, ou seja, considera a estabilidade de comportamento. Além disso, leva em consideração a produtividade do genótipo e a resposta relativa a um genótipo hipotético, que é uma medida de adaptabilidade.

Metodologias estatísticas de fácil interpretação e seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade são desenvolvidas buscando a seleção de genótipos com elevada produtividade em diferentes ambientes. No contexto dos modelos mistos, segundo Resende (2004) uma alternativa é o método da média harmônica da *Performance* relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG).

Método da média harmônica da *Performance* relativa do valor genotípico (MHPRVG)

A análise de variância (ANOVA) e análise de regressão foram, durante muito tempo, a base da análise e modelagem estatística. Entretanto, estas técnicas têm limitação para lidar com dados desbalanceados e com parentesco entre tratamentos. No caso de dados desbalanceados, a ANOVA conduz a imprecisas estimativas de componentes de variância e, conseqüentemente, à inaccuradas predições de valores genéticos. O método REML permite lidar com essa situação permitindo maior flexibilidade e eficiência na modelagem. Tal procedimento foi criado pelos pesquisadores ingleses Desmond Patterson e Robin Thompson, em 1971, e hoje se constitui no procedimento padrão para a análise estatística em uma grande gama de aplicações. O REML é uma generalização da ANOVA para situações mais complexas. Para situações simples, os dois procedimentos são equivalentes, mas para as situações mais complexas encontradas na prática, a ANOVA é um procedimento apenas aproximado (Resende, 2002).

A seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto de modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da *Performance* relativa do valor genotípico (MHPRVG) predito (Resende, 2004).

MHPRVG de acordo com Resende (2007a) apresenta as seguintes vantagens: considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece a estabilidade e a adaptabilidade genotípica, o que permite a análise de dados desbalanceados e de delineamentos não ortogonais, com heterogeneidade de variâncias. Além disso, o modelo permite considerar erros correlacionados dentro de locais, bem como a estabilidade e a adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênies; fornece valores genéticos já descontados da instabilidade; e pode ser aplicado a qualquer número de ambientes, gerando resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos, o que os outros métodos não permitem. Elimina os ruídos da interação G x A, pois considera a herdabilidade desses efeitos; gera resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado.

Esse modelo também permite inferências adicionais, tais como: seleção de genótipos específicos para cada local; seleção de genótipos estáveis através dos locais; seleção de genótipos responsivos (com alta adaptabilidade) à melhoria do ambiente; e seleção pelos três atributos (produtividade, estabilidade e adaptabilidade), simultaneamente (Torres et al., 2015).

O REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/ melhor preditor linear não viesado) é um método eficiente no estudo das várias fontes de variação associadas à avaliação de

experimentos de campo, permitindo desdobrar a variação fenotípica em seus vários componentes genéticos, ambientais e de interação G x A (Resende, 2002).

As principais vantagens práticas do REML são: permitir comparar indivíduos ou variedades através do tempo (gerações, anos) e espaço (locais e blocos); permitir a simultânea correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos; lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos) (Resende, 2002).

Ainda de acordo com o mesmo autor, na análise de modelos mistos com dados desbalanceados os efeitos do modelo, não são testados via testes F tal como se faz no método ANOVA. Nesse caso, para os efeitos aleatórios, o teste cientificamente recomendado é o teste da razão de verossimilhança (LRT). Para os efeitos fixos, um teste F aproximado pode ser usado. Um quadro similar ao quadro da análise de variância pode ser elaborado. Tal quadro pode ser denominado de Análise de *Deviance* (ANADEV) e é estabelecido segundo os seguintes passos: obtenção do logaritmo do ponto de máximo da função de verossimilhança residual (L) para modelos com e sem o efeito a ser testado; obtenção da *deviance* ($D = -2 \text{ Log } L$) para modelos com e sem o efeito a ser testado; cálculo da diferença entre as *deviances* para modelos sem e com o efeito a ser testado, obtendo a razão de verossimilhança (LR) e teste, via LRT, da significância dessa diferença usando o teste qui-quadrado com 1 GL.

A REML/BLUP baseia-se nas seguintes premissas: quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico entre dois locais, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos entre esses locais. Assim, a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente na seleção para produtividade e estabilidade. Em termos de adaptabilidade, refere-se à *Performance* relativa dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. Nesse caso, os valores genotípicos preditos são expressos como proporção da média geral de cada local e, posteriormente, obtém-se o valor médio dessa proporção através dos locais. A seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto dos modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da *Performance* relativa dos valores genéticos (MHPRVG) preditos (Carvalho et al., 2016).

Caracteres agronômicos chave na cultura do trigo

As variáveis analisadas foram escolhidas de acordo com o fator de importância, sendo o peso hectolitro indicativo de rendimento dos grãos em farinha, quanto maior for o peso

hectolitro da amostra, maior será o rendimento. Existem valores mínimos estabelecidos, utilizados para definir o tipo de trigo (Ormond et al., 2013). O peso hectolitro é a massa de cem litros de trigo, expressa em quilogramas, medida que expressa indiretamente atributos de qualidade dos grãos, em especial aqueles relacionados à moagem. A determinação do peso do hectolitro associa-se às características do grão como a forma, massa, textura do tegumento, tamanho, junto às características extrínsecas ao material como a presença de palha, terra ou outras matérias estranhas (Guarienti, 1996).

No Brasil os grãos de trigo são classificados em tipos e classes, essa classificação por tipo é determinada através do limite mínimo do peso hectolitro e dos limites máximos dos percentuais de umidade, matérias estranhas e impurezas e de grãos avariados. Sendo assim, o peso hectolitro do trigo é uma propriedade que apresenta grande importância na comercialização do produto, uma vez que os preços praticados consideram este parâmetro como um indicativo de qualidade e rendimento na extração de farinha, ou seja, o peso hectolitro exerce influência significativa na classificação comercial, uma vez que esse fator determina a qualidade e o rendimento da extração de farinha (Corrêa et al., 2006).

A massa de mil grãos é o componente com o maior indicativo para seleção de genótipos com características de destaque para produtividade (Possebon, 2017), e de grande importância para o estabelecimento da quantidade adequada de sementes para a semeadura (Ormond et al., 2013). A medida da massa de mil grãos é afetada pelas condições de temperatura, luminosidade e umidade durante a maturação no campo. Grãos de tamanho excessivo e muito pequenos não são ideais. A diferença entre o tamanho dos grãos exerce influência na quantidade de água absorvida, assim como no tempo de condicionamento que antecede à moagem, portanto, grãos médios trazem benefícios econômicos resultantes do melhor aproveitamento da matéria-prima (Guarienti, 1996).

O teor de proteína do grão pode ser afetado por fatores como clima, adubações, ambiente, época de semeadura, doenças e genótipo. A qualidade do grão de trigo é avaliada por meio de potenciais qualitativos e quantitativos das proteínas. A combinação da qualidade e quantidade de proteína presentes no grão permite a classificação para diferentes usos (Guarienti, 1996).

A produtividade em trigo é determinada por vários componentes, como: altura de plantas, número de filhotes férteis, número de espigas por planta, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e por espiguetas e peso médio do grão (Possebon, 2017). Associando-se distintamente, em função de alterações do ambiente, por estímulos ou

estresses, fato que pode ou não resultar em modificações na produtividade do trigo (Fioreze, 2011). A produtividade é caracterizada por possuir herança complexa, por ser um caráter quantitativo, com baixa herdabilidade e influenciados pelo ambiente de cultivo (Hallauer et al., 2010). Assim, a interação G x A, além de características genéticas, afeta o potencial produtivo da cultura do trigo através de efeitos diretos e indiretos (Possebon, 2017).

REFERÊNCIAS

ABITRIGO. Associação Brasileira da indústria do trigo. **O Trigo na história**. 2017. Disponível em: '<http://www.abitrigo.com.br/trigo-na-historia.php>. Acesso: 10 abr. 2019.

ABITRIGO, Associação Brasileira das Indústrias do trigo. **Estatísticas do Trigo**. 2018. Disponível em: '<http://www.abitrigo.com.br/estatisticas.php>. Acesso: 01 abr. 2019.

ARANTES, F. C. **Interação genótipo x ambiente, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de cana de açúcar**. 2013. 106 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.4, p.195-203, 2007.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; SILVA, G.; HARTWIG, I.; VALÉRIO, I. P.; FINATTO, T. Dissimilaridade genética entre genótipos de trigo avaliados em cultivo hidropônico sob estresse alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.55-63, 2006.

BEVILAQUA, G. P.; LINHARES, A. G.; SOUSA, C. N. A. Caracterização de genótipos de trigo do bloco de cruzamento da Embrapa Trigo, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p.789-797, 2003.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2013. 479p.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. 260p.

BRAMMER, S. P. **A citogenética na caracterização genômica do trigo**. 2007. Disponível em: 'http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do31.htm. Acesso: 10 jun. 2019.

BRAMMER, S. P.; MARTINELLI, P.; FERNANDES, M. I. B. M.; PRESTES, A. M.; ANGRA, D. C. **A potencialidade de Agropyron, espécie afim ao trigo cultivado, como fonte de introgressão de genes agronomicamente importantes**. 2008. Disponível em: 'http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do08.htm. Acesso: 05 jun. 2019.

BRASIL, E. M.; CHAVES, L. J. Utilización de um modelo cuadrático para el estudio de la resposta de cultivares a la variación ambiental. In: CONGRESSO LATINONAMERICANO DE GENÉTICA, 11, 1994, Monterrey. **Memorias**. Monterrey: Asociación Latinoamericana de Genética, 616p.

BREIMAN, A.; GRAUR, A. D. Wheat evolution. **Israel Journal of Plant Sciences**. v.43, n.1, p. 85-98, 1995.

BRESSAN, P. **Aspectos da produção de sementes de trigo na Cooperativa Agrícola Mista São Cristóvão Ltda**. 2015. 33p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; FRANCO, F. A.; BASSOI, M. C. **Cultivares de trigo no Paraná: rendimento, características agrônômicas e qualidade industrial**. Londrina: EMBRAPA, 2017. 48p. (EMBRAPA, Circular Técnica, 18).

CAIERÃO, E.; SILVA, M. S.; SCHEEREN, P. L.; DUCA, L. J. A. D.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; PIRES, J. L. Análise da adaptabilidade e da estabilidade de genótipos de trigo como ferramenta auxiliar na recomendação de novas cultivares. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1112-1117, 2006.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; SILVA, M. S.; CASTRO, R. L.; CARGNIN, A. Uso de germoplasma da Embrapa nos programas de melhoramento de trigo no Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.1, p.57-63, 2014.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; FOGAÇA, C. M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.4, p.243-250, 2008.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.989-1000, 2002.

CARVALHO, L. P.; FARIAS, F. J. C.; MORELLO, C. L.; TEODORO, P. E. Uso da metodologia REML/BLUP para seleção de genótipos de algodoeiro com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.3, p.314-321, 2016.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 128p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.6, Safra 2018, n.3, Dezembro, 2018. Brasília, 2018, 127p. Disponível em: 'https://www.conab.gov.br/.../safra/...safra.../15232_d62544f1a7acc13bfc0a332a9d0fc5'. Acesso: 20 mar. 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Análise Mensal: Trigo Junho de 2019**. Disponível em: '<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>'. Acesso: 05 jul. 2019a.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.6, Safra 2018/19, n.9, Junho, 2019. Brasília, 2019, 113p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso: 05 jul. 2019b.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.7, Safra 2019/20, n.4, Janeiro, 2020. Brasília, 104p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 27 jan. 2020.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.665-670, 2006.

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.1, p.220-225, 2008.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.44, n.1, p.55-85, 1990.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.2, p.56-80, 1989.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Universidade Federal de Viçosa: Imprensa universitária, 2001. 390p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 480p.

CRUZ, C. D., CARNEIRO, P. C. S. e REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2014. 668p.

DAHER, R. F.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, A. T. A.; PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S.; DAROS, M. Estabilidade da produção forrageira em clones de capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.4, p.788-797, 2003.

DESORDI, R.; KAVALCO, S. A. F.; RIBEIRO, M. D. N.; EZEQUIEL, S.; RIBEIRO, F.; PAZZA, R.; KAVALCO, K. F. Identificação e dissimilaridade genética entre genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Rio Paranaíba**, v.3, n.1, p. 14-27, 2012.

DOMICINIANO, G. P.; RODRIGUES, F. A.; MOREIRA, W. L.; OLIVEIRA, H. V.; VALE, F. X. R.; XAVIER FILHA, M. S. Silício no progresso da mancha marrom na folha bandeira do trigo. **Tropical Plant Pathology**, v.35, n.3, p.186-189, 2010.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, n.1, p.36-40, 1966.

EMBRAPA; **Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2019** / XII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Brasília, 2018. 244p.

FIGUEIREDO, S. L. **Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais**. 2011, 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

FRANCO, F. A.; CARVALHO, F. I. F. Progresso genético no rendimento do trigo e sua associação com diferentes caracteres sob variações ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p.311-321, 2007.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H.G. (ed.) **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416p.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. Passo Fundo: EMBRAPA, 1996. 36p.

HALL, A. E. **Crop responses to environment**. CRC Press LLC: Boca Raton, CRC Press, 2001, 228p.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Ames: Iowa State University, 2010.

HANSON, W. D. Distance statistics and interpretation of Southern states regional soybean tests. **Crop Science**, Madison, v.34, n.6, p.1498-1504, 1994.

HILL, M. O. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. **Applied Statistics**, v. 23, n.2, p. 340-354, 1974.

HÜHN, M. Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. **Genotype-by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.235-270.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em março, IBGE prevê safra 4,7% inferior à de 2017**. Editoria: Estatísticas Econômicas, 2018.

Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-denoticias/releases/20795-em-marco-ibge-preve-safra-4-7-inferior-a-de-2017>.

Acesso: 30 mar. 2019.

KUHNEM JUNIOR, P. R.; CASA, R. T.; RIZZI, F. P.; MOREIRA, E. N.; BOGO, A. Desempenho de fungicidas no controle de doenças foliares em trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.8, n.1, p.35-42, 2009.

LARGE, E. C. Growth stage in cereals: illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, v.3, p.128-129, 1954.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da Reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar *Performance* for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, n.1, p.193-198, 1988.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, M. M. Interação genótipo x ambiente com uso da análise de componentes principais para populações de soja selecionadas para resistência a insetos. **Revista Brasileira da Biometria**, São Paulo, v.31, n.1, p.13-27, 2013.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale**. Porto Alegre. 1983. 265p.

NUNES, G. H. S. **Interação genótipos x ambientes em eucalipto: implicações sobre a seleção e formas de atenuar seu efeito**. 2000. 160p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000.

OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218p.

ORMOND, A. T. S.; NUNES, J. A. S.; CANEPPELE, C.; SILVA, S. L. S.; PEREIRA, M. T. J. Análise das características físicas de sementes de trigo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p.108-114, 2013.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of Inter-Block Information when Block Sizes are Unequal. **Biometrika**, v.58, n.3, p.545-554, 1971.

PEIXOTO, L. S. **Proposta de análise de fatores na matriz G + GA via modelos mistos em multiambientes**. 2013. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PELEGRIN, A. J. **Dialelo completo e associação entre caracteres de rendimento em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2017. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PELUZIO, J. M.; GEROMINNI, G. D.; SILVA, J. P. A.; AFFÉRI, F. S.; VENDRUSCOLO, J. B. G. Estratificação e dissimilaridade ambiental para avaliação de cultivares de soja no estado de Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.3, p.332-337, 2012.

PERKINS, J. M.; JINKS, J. L. Environmental and genotype environmental components of variability. Multiple lines and crosses. **Heredity**, London, v.23, n.3, p. 339-356. 1968.

POLETTI, V. D. **Desempenho de sete cultivares de trigo no estado do Paraná**. 2015. 26p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, 2015.

POLIZEL, A. C.; ALVES, C. C.; HAMAVAKI, O. T.; LIMA, M. A.; SANTOS, A. Q. Desempenho agrônomico de genótipos de soja de ciclo semiprecoce/ médio em

Rondonópolis. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, n.17, p.986-993, 2013.

POSSEBON, B. **Avaliação de cruzamentos visando o incremento de caracteres de trigo relacionados ao rendimento de grãos**. 2017. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAMALHO, M.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na Agropecuária**. Lavras: UFLA, 2012. 566p.

RESENDE, M. D. V. de. **Software Selegen – REML/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 67p. (Embrapa Florestas. Documentos, 77).

RESENDE, M. D. V. **Métodos Estatísticos Ótimos na Análise de Experimentos de Campo**. Colombo: Embrapa Florestas, Ed. 1, 2004, 57 p. (Documentos, 100).

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 561p.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 359 p.

RESENDE, M. D. V.; LOPES, P. S.; SILVA, R. L.; PIRES, I.E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.56, n.1, p.63-77, 2008.

RIBEIRO, C. Z.; PINTO, R. J. B.; FRANCO, F. A.; MARCHIORO, V. S.; SCHUSTER, I.; VIEIRA, E. S. N. Análise dialélica e uso de marcadores microssatélites na avaliação de cultivares de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.10, p.1732-1737, 2011.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B., ALVES, A. A., LAVIOLA, B. G., & BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

ROSSE, L. N.; VENCOSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.99-107, 2000.

ROSSMANN, H. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma população de soja avaliada em quatro anos**. 2001. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANGOI, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L. ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agrônomicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1564-1570, 2007.

SCHEEREN, P. L.; MIRANDA, M. Z.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; BASSOI, M. C.; SOUSA, P. G. Trigo no caminho certo. **Revista Cultivar**. Abril, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71282/1/ID-19602.pdf>. Acesso: 20 mar. 2019.

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

SILVA, J. G. C. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.

SLEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops**. Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006. 424p.

SOUZA, M. A.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p.1245-1253, 2001.

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.17, n.1, p.75-81, 1994.

TAVARES, L. C. V.; BASSOI, M. C.; MIRANDA, L. C.; PRETE, C. E. C. Transferência de tecnologia para cultivares de trigo no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.1, p.21-27, 2011.

TOLER, J. E.; BURROWS, P. M. Genotypic *Performance* over environmental arrays: a non linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v.25, n.1, p.131-143, 1998.

TORRES, F. E.; TEODORO, P. E.; SAGRILO, E. CECCON, G.; CORREA, A. M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v.74, n.3, p.255-260, 2015.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MACHADO, A. A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P. L.; SOUZA, V. Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.319-326, 2008.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fito melhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. A.; CANTELLE, A. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.3, p.337-341, 2011.

WESTCOTT, B. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v.108, n.2, p.267-274, 1987.

WRICKE, G. Zur berechnung der okoalenz bei sommerweizen und hofer. **Pflanzenzuchturg**, Berlin, v.52, p.127-138, 1965.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Boca Raton: CRC Press 2002. 286p.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.25-29, 2002.