

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE AGRONOMIA**

WILLIAN PEDRO ZIMMERMANN

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA
BRANCA NA FRONTEIRA OESTE**

Itaqui, RS – Brasil

2024

WILLIAN PEDRO ZIMMERMANN

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA
BRANCA NA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Guilherme Ribeiro

Itaqui, RS – Brasil

2024

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

Z732a Zimmermann, Willian Pedro
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA BRANCA
NA FRONTEIRA OESTE / Willian Pedro Zimmermann.
33 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2024.

"Orientação: Guilherme Ribeiro".

1. Avena sativa. 2. interação genótipos ambiente. 3.
multiambiente. I. Título.

WILLIAN PEDRO ZIMMERMANN

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA
BRANCA NA FRONTEIRA OESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenheiro Agrônomo.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 11 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Ribeiro
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Allan Alves Fernandes
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Daniel Andrei Robe Fonseca
(UNIPAMPA)

RESUMO

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA BRANCA NA FRONTEIRA OESTE

A aveia branca (*Avena sativa*) apresenta grande importância como cultura alternativa de inverno com uma ampla área de cultivo no Brasil, principalmente na região Sul. Com o decorrer dos anos houve na fronteira oeste do Rio Grande do Sul a inserção de outras culturas no sistema de sequeiro, onde prevalecia principalmente o arroz irrigado. No entanto, é comum que ocorram períodos de estresses hídricos nessas áreas, como é o caso do excesso e déficit hídrico, submetendo a planta a prolongados períodos de estresse afetando diretamente seu potencial. Uma das alternativas é a avaliação de genótipos já existentes no mercado a fim de identificar a sua capacidade de resposta de acordo com as condições ambientais submetidas. Nesse sentido, a estimativa da adaptabilidade e estabilidade de cultivares surge como um excelente método de verificação da interação e fornece informações precisas sobre a recomendação de genótipos. O objetivo do trabalho foi estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de aveia branca granífera em Itaqui - Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. As cultivares utilizadas foram: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, FAEM 4 Carlasul, URS Taura, URS Corona e URS Brava avaliadas em 13 ambientes. As metodologias utilizadas foram de Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) e GGE Biplot. De acordo com os resultados da análise de variância, foi verificada interação significativa ($p < 0,05$) entre genótipos e ambientes. A metodologia de Eberhart e Russel, apresentou semelhanças de classificação de cultivares com o método GGE. Na classificação pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky, as cultivares classificadas foram as mesmas pelo método de Eberhart e Russel. Já a metodologia que apresentou maior rigor quanto a classificação foi de Lin e Binns. De modo geral, em análise conjunta das metodologias, foram identificadas as cultivares que apresentaram adaptabilidade para ambientes favoráveis: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro e IPR Afrodite; para adaptabilidade em ambientes desfavoráveis as cultivares FAEM 04 Carlasul e URS Corona. Para estabilidade, apenas as cultivares UPFA Gaudéria, IPR Afrodite e URS Brava. Além disso, somente a cultivar UPFPS Farroupilha apresentou ampla adaptabilidade aos ambientes.

Palavras-Chave: *Avena sativa*, interação genótipos ambiente, .

ABSTRACT
ADAPTABILITY AND STABILITY OF WHITE OAT CULTIVARS IN THE
WEST FRONTIER

White oat (*Avena sativa*) is of great importance as an alternative winter crop with a large cultivation area in Brazil, mainly in the South region. Over the years, other crops have been inserted into the system on the western border of Rio Grande do Sul. rainfed, where mainly irrigated rice prevailed. However, it is common for periods of water stress to occur in these areas, as is the case with water excess and deficit, subjecting the plant to prolonged periods of stress directly affecting its potential. One of the alternatives is the evaluation of genotypes already on the market in order to identify their response capacity according to the environmental conditions subjected. In this sense, estimating the adaptability and stability of cultivars appears to be an excellent method for verifying the interaction and providing accurate information about recommending genotypes. The objective of the work was to estimate the adaptability and stability of white grain oat cultivars in Itaqui - Western Border of Rio Grande do Sul. The cultivars used were: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, FAEM 4 Carlasul, URS Taura, URS Corona and URS Brava evaluated in 13 environments. The methodologies used were those of Eberhart and Russel (1966), Cruz, Torres and Vencovsky (1989), Lin and Binns (1988) and GGE Biplot. According to the results of the analysis of variance, a significant interaction ($p < 0,05$) between genotype and environments was verified. For the Eberhart and Russel methodology, it showed similarities in cultivar classification with the GGE method. In the classification using the Cruz, Torres and Vencovsky method, the cultivars classified were the same as those using the Eberhart and Russel method. The methodology that presented the greatest rigor in terms of classification was that of Lin and Binns. In general, in a joint analysis of the methodologies, it identified the cultivars that showed adaptability to favorable environments for UPFA Gaudéria, UPFA Ouro and IPR Afrodite, for adaptability in unfavorable environments the cultivars FAEM 04 Carlasul and URS Corona. For stability, only the cultivars UPFA Gaudéria, IPR Afrodite and URS Brava. Furthermore, only the UPFPS Farroupilha cultivar showed broad adaptability to the environments.

Keywords: *Avena sativa*, genotype-environment interaction, multi-environment.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Comparação de médias do rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.....	17
TABELA 2: Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método Eberhart e Russel (1966), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.....	19
TABELA 3: Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.....	21
TABELA 4: Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Lin e Binns (1988), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. METODOLOGIA.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. CONCLUSÕES	26
5. REFERÊNCIAS	27
6. ANEXOS	32

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA BRANCA NA FRONTEIRA OESTE¹

ADAPTABILITY AND STABILITY OF WHITE OAT CULTIVARS IN THE WEST FRONTIER

Willian Pedro Zimmermann^a

^aUniversidade Federal do Pampa, Graduação em agronomia. RS, Brasil.

*E-mail: willianzimmermann.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO

A aveia branca (*Avena sativa*) vem apresentando grande importância como cultura alternativa de inverno com ampla área de cultivo no Brasil, principalmente na região Sul. Para o cultivo na fronteira oeste do Rio grande do sul, se faz necessária a criação de cultivares adaptadas às características do solo, porém é um processo lento. Uma das alternativas é a avaliação de genótipos existentes no mercado a fim de identificar sua capacidade de resposta de acordo com as condições ambientais submetidas. O objetivo do trabalho foi estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de aveia branca granífera em Itaqui - Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. As cultivares utilizadas foram: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, FAEM 4 Carlusul, URS Taura, URS Corona e URS Brava avaliadas em 13 ambientes. As metodologias utilizadas foram de Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) e GGE Biplot. De acordo com os resultados da análise de variância, foi verificada interação significativa ($p < 0,05$) entre genótipos e ambientes. De modo geral entre os métodos, as cultivares que apresentaram adaptabilidade para ambientes favoráveis foram a UPFA Gaudéria, UPFA Ouro e IPR Afrodite, adaptabilidade para ambientes desfavoráveis as cultivares FAEM 04 Carlusul e URS Corona. Para estabilidade, apenas as cultivares UPFA Gaudéria, IPR Afrodite e URS Brava. Somente a cultivar UPFPS Farroupilha apresentou ter ampla adaptabilidade.

Palavras-chave: *Avena sativa*, ambiente, melhoramento vegetal.

ABSTRACT

White oat (*Avena sativa*) has shown great importance as alternative winter crop with a wide cultivation area in Brazil, mainly in the South region. For cultivation on the western border of Rio Grande do Sul, it is necessary to create cultivars adapted to the characteristics of the soil, but this is a slow process. One of the alternatives is the evaluation of genotypes already on the market in order to identify their response capacity according to the environmental conditions subjected. The objective of the work was to estimate the adaptability and stability of white grain oat cultivars in Itaqui - Western Border of Rio Grande do Sul. The cultivars used were: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, FAEM 4 Carlusul, URS Taura, URS Corona and URS Brava evaluated in 13 different environments. The methodologies used were those of Eberhart and Russel (1966), Cruz, Torres and Vencovsky (1989), Lin and Binns (1988) and GGE Biplot. According to the results of the analysis of variance, a significant interaction ($p < 0,05$) between genotype and environments was verified. In general, among the methods, the cultivars that showed adaptability to favorable environments were UPFA Gaudéria, UPFA Ouro and IPR Afrodite, adaptability to unfavorable environments were the cultivars FAEM 04 Carlusul and URS Corona. For stability, only the cultivars UPFA Gaudéria, IPR Afrodite and URS Brava. Only the UPFPS Farroupilha cultivar showed broad adaptability.

Keywords: *Avena sativa*, environment, plant breeding.

¹TCC formatado pelas normas da Revista Ensaios e Ciências, ISSN (1415-6938). Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/index>.

1. INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa*) é um importante cereal de cultivo principalmente na região sul do Brasil. Sua área vem aumentando ao longo dos anos no estado, na safra 2023 aumentou 4,3 % em relação a de 2022 (Conab, 2024). Por conta das condições climáticas adversas ocasionadas na última safra gaúcha, houve comprometimento com a produtividade e qualidade de grãos colhidos, gerando assim, baixa produtividade, de 1.874 Kg ha⁻¹, queda de 27,6% em comparação a safra 2022, além de baixa qualidade final do produto (Conab, 2024). Apartir das safras anteriores, de 2013 em diante, a produtividade ficou 2.249 Kg ha⁻¹ na média, sendo 100 Kg ha⁻¹ a mais em comparação com a média nacional no mesmo período (Conab, 2024).

Estando entre as principais espécies cultivadas no país, este cereal possui sua utilização, principalmente na alimentação humana e animal (Malanchen *et al.*, 2019). No contexto da produção agrícola, a demanda por cultivares com alta produtividade, que ofereçam produtos de qualidade superior e ampla aceitação comercial, está crescendo (Crestani *et al.*, 2010). Assim a aveia branca vem apresentando grande importância como cultura alternativa de inverno com ampla

área de cultivo no Brasil, principalmente na região Sul, pelo fato de serem mais adaptadas ao clima de frio moderado presente no período hibernar (Borges; Machado; Inomoto, 2010).

Diversos fatores, sejam eles bióticos ou abióticos, possuem a capacidade de determinar o potencial produtivo de um genótipo (Rolim, 2023), nesse sentido, as condições meteorológicas do ambiente de cultivo (Howarth *et al.*, 2021), bem como a incidência e a severidade do dano de doenças são os maiores relatados (Lorencetti *et al.*, 2004; Karelov *et al.*, 2022). Na aveia branca, a ferrugem e as manchas foliares são as principais doenças responsáveis pela redução do rendimento de grãos da cultura (Nazareno *et al.*, 2018). Atualmente, a principal estratégia de controle desses patógenos é a utilização de fungicidas, porém, algumas pesquisas realizadas identificaram genótipos promissores de aveia branca para cultivo com uso reduzido de fungicidas (Silva *et al.*, 2015).

A fronteira oeste do Rio Grande do Sul se destaca como grande produtora de arroz, abrangendo uma área de 278.350 hectares no total (Sosbai, 2022). Porém com o decorrer dos anos, o arroz concedeu espaço para a inserção de outras culturas no sistema de sequeiro, como é o caso do trigo

e aveia no inverno e na estação quente, milho e soja, o que possibilitou maior diversidade de culturas e utilização do solo (Irga, 2024).

No período da entressafra, estas áreas normalmente encontram-se em pousio, com vegetação espontânea ou então com o rebrote do arroz servindo de fonte alimentar de baixa qualidade para rebanhos bovinos (Fontoura *et al.*, 2020). No entanto, é comum que ocorram períodos de estresses hídricos nessas áreas, como é o caso do excesso e déficit hídrico, submetendo a planta a prolongados períodos de estresse afetando diretamente seu potencial (Mattos, 2016). Dessa forma, favorecendo assim a ocorrência de estresses que podem desencadear restrições severas no crescimento e desenvolvimento da cultura nesse ambiente (Cassol, 2017).

Portanto, o melhoramento vegetal assume o papel de identificar e minimizar o efeito do ambiente por meio de constituições genéticas com desempenho superior (Bittencourt, 2020). Uma das alternativas é a avaliação de genótipos já existentes no mercado a fim de identificar a sua capacidade de resposta de acordo com as condições ambientais submetidas (Casagrande *et al.*, 2024). Nesse sentido, a estimativa da adaptabilidade e estabilidade

de cultivares surge como um excelente método de verificação da interação e fornece informações precisas sobre os genótipos (Rother *et al.*, 2019).

A adaptabilidade se refere à habilidade dos genótipos de aproveitar as condições ambientais de forma vantajosa, enquanto a estabilidade se relaciona com a capacidade dos genótipos de apresentar comportamentos previsíveis em resposta aos estímulos do ambiente (Cruz; Regazzi, 1997). As análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais (Oliveira *et al.*, 2016). Na literatura, diferentes níveis de associação entre as metodologias que estimam a adaptabilidade e estabilidade indicam que para uma previsão confiável do desempenho do genótipo deve-se ser utilizada mais de uma metodologia (Silva; Duarte, 2006; Roostaei *et al.*, 2014). Nesse sentido, inúmeros métodos existem para analisar essas estimativas, sendo os modelos paramétricos baseados em análise de regressão simples (Eberhart; Russel, 1966), os baseados em regressão bissegmentada (Cruz; Torres; Vencovsky, 1989), os modelos não paramétricos (Lin; Binns, 1988), os baseados em análise

multivariada (GGE) (Yan *et al.*, 2000), entre outros.

Entre os métodos mais reconhecidos está o proposto por Eberhart e Russel (1966), sendo um dos de maior aplicação (Nörnberg *et al.*, 2014). A metodologia é uma expansão do modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963), sob o aspecto que tanto os coeficientes de regressão, quanto os desvios da regressão proporcionam estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. É um modelo paramétrico que se baseia em uma análise de regressão simples, que identifica os melhores genótipos e caracteriza-se pela facilidade de interpretar os parâmetros estimados e sua confiabilidade (Silveira *et al.*, 2010).

A metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), vem como uma extensão mais simples e com propriedades estatísticas mais adequadas ao método de Silva e Barreto (1985). A metodologia baseia-se em uma análise de regressão bissegmentada agrupando os genótipos em dois grupos de ambientes, sendo eles os desfavoráveis e os favoráveis. Por ser uma técnica mais simples e com maior adequação estatística, podendo estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, é muito utilizada para avaliar espécies anuais em

diversos ambientes (Hawerth *et al.*, 2013).

O método proposto por Lin e Binns (1988), o qual é baseado na análise não paramétrica, define o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente como medida para estimar a adaptabilidade e estabilidade, sendo avaliados pelos índices de estabilidade P_i . Visando aprimorar a proposta, Carneiro (1998), realizou a decomposição do estimador P_i , classificando os ambientes em favoráveis e desfavoráveis, facilitando a interpretação dos resultados.

A análise GGE Biplot consiste em um conjunto de métodos de interpretação visual para a identificação de genótipos superiores nos ambientes, por meio da avaliação da interação entre genótipo e genótipo-ambiente (GGE) (Yan; Tinker, 2006). Esse método ainda possibilita demonstrar e identificar os genótipos que são adequados para ambientes específicos ou genótipos que são estáveis em todos os ambientes (Khan *et al.*, 2021). É um método multivariado, baseado na decomposição de valores singulares (SVD) centrados no ambiente (Yan *et al.*, 2000). O SVD, faz a decomposição de dados dos componentes principais, cada um contendo

o vetor genótipo, vetor ambiente e os valores singulares (Yan; Tinker, 2006).

O trabalho teve como objetivo estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de aveia branca granífera em Itaquí - Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Os dados experimentais foram provenientes do Ensaio Brasileiro de Cultivares de Aveia Branca (EBCAB), coordenados pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (CBPA). Os ensaios foram conduzidos na área experimental do curso da agronomia da Universidade Federal do Pampa, campus Itaquí – RS. As coordenadas geográficas de latitude e longitude são 29° 08' 17'' S e 56° 32' 55'' W, respectivamente, e sua altitude é de 57m. Nesta área, a classificação climática segundo Köppen, é definida como clima Cfa, que significa subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, sendo que no mês mais quente a temperatura média supera os 25 °C e no mês mais frio a temperatura média é inferior aos 15 °C (Wrege *et al.*, 2012). O solo é caracterizado como Plintossolo Argilúvico (Embrapa, 2018).

A condução do EBCAB, em Itaquí (RS), ocorreu durante os anos de 2013 a 2023, exceto nos anos de 2014 e 2017. De

2013 a 2018 o ensaio foi conduzido com e sem a aplicação de fungicida. Nos outros anos, de 2019 a 2023 apenas com fungicida, em função da alteração da proposta da comissão (CBPA). Os ambientes eram: 1 – 2013 com fungicida; 2 – 2013 sem fungicida; 3 – 2015 com fungicida; 4 – 2015 sem fungicida; 5 – 2016 com fungicida; 6 – 2016 sem fungicida; 7 – 2018 com fungicida; 8 – 2018 sem fungicida; 9 – 2019 com fungicida; 10 – 2020 com fungicida; 11 – 2021 com fungicida; 12 – 2022 com fungicida; 13 – 2023 com fungicida.

Para a tabulação das cultivares, foi realizado a contabilização e identificação das cultivares com presença nos experimentos durante o período. Sendo que as cultivares avaliadas foram: UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, FAEM 4 Carlasul, URS Taura, URS Corona e URS Brava.

Para cada ano o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três (3) repetições. De 2013 a 2018, a distribuição dos tratamentos foram em parcelas subdivididas em faixas, onde as parcelas constituíram os tratamentos com fungicida (CF) e sem fungicida (SF), e as subparcelas foram constituídas pelas cultivares. De 2019 a

2023, o delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC), sendo a distribuição das cultivares em parcelas compondo cada unidade experimental e cada bloco compreendia cada repetição, sendo feito somente tratamento com fungicida (CF).

Cada unidade experimental era constituída por cinco (5) linhas com espaçamento entre linhas de 0,17 m, por cinco (5) metros de comprimento, totalizando uma área de 4,25 m² por unidade experimental. A densidade de semeadura utilizada foi cerca de 350 sementes viáveis por metro quadrado. A adubação foi de acordo com o manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016). Para as adubações de cobertura com nitrogênio (N), as doses eram em torno de 60 Kg ha⁻¹, parceladas nos estádios de perfilhamento e alongamento.

Quanto a utilização do fungicida, foram realizadas de duas (2) a três (3) aplicações de fungicida. Tendo a aplicação inicial a partir dos primeiros sintomas da doença, já as seguintes aplicações foram com intervalo de 15 dias da anterior, ou com maior intervalo se necessário. O fungicida utilizado, cujo grupo químico é triazol e estrubirulina foi aplicado na dosagem da bula. Já o experimento sem o

uso de fungicida caracterizou-se por sua ausência no controle de doenças.

Para cada unidade experimental, foram colhidas as três (3) linhas centrais, desconsiderando as duas (2) linhas laterais, consideradas como bordadura.

A variável analisada foi Rendimento de grãos (RG): sendo realizada a colheita de forma manual da área útil de avaliação, identificado o material e posteriormente trilhado para a separação grão/planta. Após foi pesado o produto em balança de precisão expressa em gramas e realizada a conversão para kg ha⁻¹.

Os dados dos resultados dos experimentos depois de tabulados, foram submetidos à análise de variância conjunta, em fatorial 13 x 8, sendo 13 ambientes e oito (8) cultivares, pelo software Genes (Cruz, 2013). Após, estimando a comparação de média entre os fatores e a interação, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade de erro. Após constatação de interação significativa entre as cultivares e os ambientes, foram estimados os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Por fim, para determinação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, utilizou-se o software R (R Development Core Team, 2013) e o programa estatístico Genes (Cruz, 2013).

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade foram utilizados os métodos de Eberhart e Russell (1966); Cruz, Torres e Vencovsky (1989); Lin e Binns (1988) e GGE biplot:

i) Eberhart e Russell (1966), se baseia no modelo de regressão linear simples: $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1j} + I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que Y_{ij} é a média do genótipo i no ambiente j ; β_{0i} é a média geral do genótipo; β_{1j} é o coeficiente de regressão linear, cuja estimativa representa a resposta do genótipo i à variação do ambiente j ; I_j é o índice ambiental codificado; δ_{ij} são os desvios da regressão; e ε_{ij} é o erro experimental médio. Os coeficientes de regressão de cada cultivar em relação ao índice ambiental (B_1) e os desvios desta regressão (δ_{ij}) proporcionam estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente. Para que um genótipo seja considerado “ideal”, deve ter, além de média elevada (β_{0i}), um coeficiente próximo de 1 ($\beta_1=1$), desvios da regressão ($\sigma^2_{\delta_i}$) não significativos e coeficientes de determinação acima de 80%.

ii) Cruz, Torres e Vencovsky (1989) se baseiam no modelo de regressão bissegmentada: $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} corresponde à média do genótipo i no ambiente j ; β_{0i} é a média geral do genótipo i em todos os ambientes

testados; β_{1i} é o coeficiente de regressão linear que avalia a resposta do genótipo a variação ambiental dos ambientes desfavoráveis; I_j é o índice ambiental codificado; β_2 é o coeficiente de regressão linear que avalia a resposta genotípica à variação dos ambientes favoráveis; $T(I_j) = 0$, se $(I_j) < 0$, ou $T(I_j) = I_j - I_+$ se $I_j > 0$, em que I_+ é a média dos índices I_j positivos; δ_{ij} é o desvio da regressão linear; e ε_{ij} é o erro experimental. Os parâmetros analisados de adaptabilidade são: a média (β_{0i}), resposta linear dos genótipos aos ambientes desfavoráveis (β_{1i}), e aos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$). Já a estabilidade genotípica é avaliada pelo desvio da regressão de cada cultivar ($\sigma^2_{\delta_i}$). O genótipo considerado ideal deve apresentar média elevada, β_{1i} menor que um (1), $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ maior que um (1), e desvio próximo à zero.

iii) Lin e Binns (1988) utilizam um método de análise não paramétrica, estimada pela fórmula $P_i = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2 / 2n$, em que: P_i corresponde a estimativa da estabilidade e adaptabilidade da cultivar i ; X_{ij} é a produtividade do i -ésimo cultivar no j -ésimo local; M_j é a resposta máxima observada entre todas as cultivares no local j ; n corresponde ao número de locais. Sendo assim, quanto menor o valor de P_i , indica que o genótipo é adaptado e estável

aos ambientes favoráveis e/ou desfavoráveis, ou que pode também apresentar adaptabilidade e estabilidade geral.

iv) GGE biplot: considera o efeito isolado do genótipo e a interação genótipo e ambiente, em um modelo $y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \phi_{ij}$, em que: y_{ij} é o rendimento médio do genótipo i no ambiente j , $i = 1, \dots, g$; $j = 1, \dots, a$, sendo que g é o número de genótipos e a é o número de ambientes, respectivamente; μ é a média geral; α_i é o efeito principal do genótipo i ; β_j é o efeito principal do ambiente j ; ϕ_{ij} é o efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente j . Explicitamente temos:

$$\phi_{ij} = y_{ij} - \mu - \beta_j = \sum \xi_{ik}^* \eta_{jk}^*$$

onde $\xi_{ik}^* = \lambda_k^\alpha \xi_{ik}$; $\eta_{jk}^* = \lambda_k^{1-\alpha} \eta_{jk}$ é o k -ésimo autovalor do SVD ($k=1, \dots, p$), com $p \leq \min(e, a)$; α é o fator de partição de valor singular para o componente principal (PC) k ; ξ_{ik}^* e η_{jk}^* são as pontuações de PC para o genótipo i no ambiente j , respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação genótipo x ambiente (GxA) foi significativa ($p < 0,05$) (Tabela 1), mostrando que o rendimento de grãos das diferentes cultivares apresentaram diferenças nos diversos ambientes avaliados. Justificando assim o estudo de

adaptabilidade e estabilidade (Cruz; Carneiro, 2006).

Comparando as diferentes cultivares por ambiente, no ambiente de cultivo 1 (2013 CF) e 2 (2013 SF), as cultivares não apresentaram diferenças estatísticas. Para o ambiente 3 (2015 CF), as cultivares URS Corona, UPFA Gaudéria, FAEM 04 Carlasul e UPFPS Farroupilha foram as que apresentaram maiores médias sendo superiores as demais. No ambiente 4 (2015 SF), a cultivar que apresentou maior rendimento foi a URS Corona apresentando média de 1910 Kg ha^{-1} , sendo superior as demais onde não ultrapassaram os 630 Kg ha^{-1} . No ambiente 5 (2016 CF), as cultivares FAEM 04 Carlasul, IPR Afrodite, UPFPS Farroupilha, UPFA Gaudéria e UPFA Ouro foram mais produtivas comparadas as demais. No ambiente 6 (2016 SF), as cultivares mais produtivas foram a FAEM 04 Carlasul, URS Corona e a UPFA Ouro. No ambiente 7 (2018 CF), o maior rendimento foi da cultivar UPFA Ouro, apresentando média de 2810 Kg ha^{-1} . No ambiente 8 (2018 SF), todas as cultivares apresentaram médias elevadas para rendimento, exceto FAEM 04 Carlasul, onde se diferiu das demais cultivares se mostrando inferior.

Tabela 1. Comparação de médias* do rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaqui, RS.

Cultivares	Ambientes													Média
	1”	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
UPFA Gaudéria	1133 Da	1091 Da	2529 Aa	528 Eb	1361 Ca	650 Eb	2002 Bb	1488 Ca	1949 Ba	1668 Ca	645 Ea	564 Ea	1630 Cc	1326 a
UPFA Ouro	1218 Ca	1174 Ca	1650 Cb	303 Db	1342 Ca	1383 Ca	2810 Aa	1260 Ca	2294 Ba	1584 Ca	677 Da	501 Da	1952 Bb	1396 a
UPFPS Farroupilha	1704 Ba	1296 Ba	2325 Aa	286 Db	1478 Ba	1005 Cb	1684 Bb	1465 Ba	2156 Aa	1530 Ba	898 Ca	826 Ca	1353 Bc	1385 a
IPR Afrodite	1267 Ba	1262 Ba	1923 Ab	319 Cb	1642 Aa	1032 Bb	1948 Ab	1176 Ba	1830 Aa	827 Cb	533 Ca	692 Ca	2142 Ab	1276 a
FAEM 04 Carlasul	1173 Ca	1184 Ca	2329 Aa	490 Db	1762 Ba	1844 Ba	1264 Cc	407 Db	1300 Cb	1136 Cb	842 Da	623 Da	1672 Bc	1233 a
URS Taura	1280 Ca	947 Ca	2089 Bb	526 Db	1135 Cb	1218 Cb	1286 Cc	1078 Ca	1846 Ba	1324 Ca	578 Da	653 Da	2677 Aa	1280 a
URS Corona	1221 Ca	1222 Ca	2810 Aa	1910 Ba	958 Db	1626 Ba	1820 Bb	1180 Ca	1314 Cb	1155 Cb	726 Da	687 Da	1557 Bc	1399 a
URS Brava	1297 Ba	1137 Ca	1591 Bb	629 Cb	1052 Cb	915 Cb	1485 Bc	1369 Ba	2092 Aa	878 Cb	674 Ca	935 Ca	1376 Bc	1187 a
Média	1287 B	1164 B	2156 A	624 C	1341 B	1209 B	1787 A	1178 B	1848 A	1263 B	697 C	685 C	1795 A	

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem, pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

“Ambientes: 1 – 2013 com fungicida; 2 – 2013 sem fungicida; 3 – 2015 com fungicida; 4 – 2015 sem fungicida; 5 – 2016 com fungicida; 6 – 2016 sem fungicida; 7 – 2018 com fungicida; 8 – 2018 sem fungicida; 9 – 2019 com fungicida; 10 – 2020 com fungicida; 11 – 2021 com fungicida; 12 – 2022 com fungicida; 13 – 2023 com fungicida.

No ambiente 9 (2019 CF), novamente a FAEM 04 Carlasul junto com a URS Corona apresentaram as menores médias (tabela 1). No ambiente 10 (2020 CF), as cultivares que apresentaram maiores rendimentos foram a UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha e URS Taura, essas diferindo das demais cultivares. No ambiente 11 (2021 CF) e 12 (2022 CF), as cultivares não apresentaram diferenças estatísticas, sendo assim consideradas iguais. Para o ambiente 13 (2023 CF), a URS Taura foi a cultivar mais produtiva, apresentando 2677 Kg ha⁻¹, diferindo das demais.

Comparando os diferentes ambientes por cultivares, a cultivar UPFA Gaudéria apresentou maior média no ambiente 3 (2015 CF), produzindo um total de 2529 Kg ha⁻¹. Para a cultivar UPFA Ouro, se apresentou maior rendimento apenas no ambiente 7 (2018 CF), com 2810 Kg ha⁻¹. Para a cultivar UPFPS Farroupilha, obteve as maiores médias nos ambientes 3 (2015 CF) e 9 (2019 CF), produzindo 2325 Kg ha⁻¹ e 2156 Kg ha⁻¹, respectivamente. Para a cultivar IPR Afrodite, apresentou ocorrência de rendimento elevado em cinco (5), ou seja, em 38% dos ambientes, representados pelos ambientes 13 (2023 CF) (2142 Kg ha⁻¹), 7 (2018 CF) (1948 Kg ha⁻¹), 3 (2015 CF) (1923 Kg ha⁻¹), 9 (2019 CF) (1830 Kg ha⁻¹)

¹) e 5 (2016 CF) (1642 Kg ha⁻¹). Para a cultivar FAEM 04 Carlasul, apresentou maior rendimento apenas no ambiente 3 (2015 CF), com 2329 Kg ha⁻¹. A cultivar URS Taura dentre os ambientes, obteve sua maior média para o ambiente 13 (2023 CF), alcançando 2677 Kg ha⁻¹, diferindo dos demais. Para a cultivar URS Corona, apresentou superioridade apenas no ambiente 3 (2015 CF), tendo seu rendimento de 2810 Kg ha⁻¹, diferindo assim dos demais ambientes. Para a cultivar URS Brava, apresentou maior RG no ambiente 9 (2019 CF) (2092 Kg ha⁻¹), sendo assim superior aos outros ambientes.

Portanto, fica evidente a importância da aplicação de fungicida, visto que os ambientes em que não houve a aplicação, apresentaram forte influência negativa no desempenho produtivo dos genótipos. Condições de elevada temperatura e umidade relativa, se caracteriza como ambientes favoráveis para o surgimento de doenças foliares, principalmente pelos fungos do gênero *Puccinia* spp. e *Drechslera* spp. (Dornelles *et al.*, 2021; Marolli *et al.*, 2021).

As condições climáticas influenciam fortemente o rendimento das plantas, pois são capazes de alterar a produtividade dos componentes de rendimento, seja por diferenças de temperatura, radiação solar, precipitações

(Bazzo *et al.*, 2021; Mantai *et al.*, 2021; Reginatto *et al.*, 2022). Assim, a produtividade acaba sendo uma característica que apresenta herança quantitativa, ou seja, é controlada por diversos genes (Araus *et al.*, 2008). Este fato é capaz de explicar parte da discrepância de valores do rendimento das cultivares entre os diferentes ambientes pela variação das condições climáticas ao longo dos anos de estudo.

Os ambientes que se apresentaram superiores foram justamente aqueles onde foi realizado o manejo fitossanitário conforme recomendações da CBPA (Deuner *et al.*, 2021), sendo indicativo do

fundamental uso de fungicida na cultura da aveia branca para melhor produtividade e qualidade de grãos (Rother *et al.*, 2018).

A metodologia desenvolvida por Eberhart e Russel (1966) é fundamental para a identificação de cultivares recomendadas para regiões específicas ou para aquelas com ampla adaptabilidade (Oliveira *et al.*, 2002). Através desse método, genótipo ideal é aquele com alta produtividade média (β_{0i}), coeficientes regressão o mais próximo de 1 ($\beta_{1i} = 1$), desvios da regressão ($\sigma^2 \delta_i$) não significativos e coeficientes de determinação acima de 80%.

Tabela 2. Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método Eberhart e Russel (1966), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.

Eberhart & Russel (1966)				
Cultivar	Média (β_{0i})	β_{1i}	$\sigma^2 \delta_i$ ($\times 10^5$)	R ² (%)
UPFA Gaudéria	1326 A'	1,20ns	0,34*	84,72
UPFA Ouro	1396 A	1,24ns	1,09**	73,50
UPFPS Farroupilha	1385 A	1,00ns	0,44**	76,85
IPR Afrodite	1276 A	1,13ns	0,20ns	86,11
FAEM 04 Carlasul	1232 A	0,87ns	1,26**	54,53
URS Taura	1280 A	1,11ns	0,69**	75,63
URS Corona	1398 A	0,71ns	1,90**	36,51
URS Brava	1187 A	0,70ns	0,25ns	68,61

** , * : significativo a 1 e 5%, respectivamente. ns: não significativo. ' Médias seguidas pela mesma letra não diferem, pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

Para a aplicação da metodologia $\beta_{1i} > 1$: adaptabilidade a ambientes classifica-se os seguintes critérios: $\beta_{1i} < 1$: favoráveis; $\beta_{1i} = 1$: adaptabilidade a ambientes desfavoráveis; $\beta_{1i} > 1$: ambientes desfavoráveis e favoráveis.

Além disto, o desvio da regressão ($\sigma^2_{\delta_i}$) fornece a informação sobre a estabilidade da cultivar, sendo: não significativo ($=0$) como estável e significativo ($\neq 0$) como não estável. Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade segundo a metodologia, nenhuma cultivar foi identificada como genótipo ideal (Tabela 2). Considerando a cultivar UPFPS Farroupilha, mais próxima a classificação apresentando ter ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$), porém acabou apresentando baixa estabilidade (δ_{ij} significativo), ou seja, baixa previsibilidade no desempenho de rendimento de grãos.

Para as cultivares UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, IPR Afrodite e URS Taura, apresentaram adaptação específica a ambientes favoráveis ($\beta_{1j}>1$). Já as cultivares FAEM 04 Carlasul, URS Corona e URS Brava apresentaram adaptação específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1j}<1$). Com relação a cultivar UPFPS Farroupilha apresentou ter ampla adaptabilidade a diferentes ambientes ($\beta_{1j}=1$), sendo assim, conforme a mudança ambiental, essa cultivar não modifica o seu comportamento.

A estabilidade, verificada pelo desvio de regressão, identificou apenas as cultivares IPR Afrodite e URS Brava como estáveis ($\sigma^2_{\delta_i} = 0$), o restante delas apresentaram-se como instáveis ($\sigma^2_{\delta_i} \neq 0$). Quando o genótipo possuir o desvio da

regressão significativo ($\sigma^2_{\delta_i} \neq 0$), o coeficiente de determinação ($R^2\%$) se torna uma medida de apoio importante, sendo que, se os genótipos possuírem o coeficiente de determinação alto ($R^2>80\%$), é indicativo de razoável estabilidade (Oliveira *et al.*, 2002; Cruz; Regazzi; Carneiro, 2004). Desta forma, caracterizando a cultivar UPFA Gaudéria como estável.

Com exceção das cultivares UPFA Gaudéria e IPR Afrodite, as demais apresentaram coeficiente de determinação baixo ($R^2<80\%$), sua previsibilidade de comportamento foi classificada baixa, ou seja, as cultivares apresentaram grande alteração na produção de grãos em função da variação de ambientes, não tendo como prever seu comportamento de acordo com as mudanças de ambientais (Cruz; Regazzi, 1997). O coeficiente de determinação serve com medida auxiliar para medir a previsibilidade dos genótipos, isso reflete a qualidade do ajuste do modelo de regressão para a rendimento de grãos (Faria *et al.*, 2017).

Utilizando o método Eberhart e Russel, Rother *et al.* (2019) observou-se sua eficiência para estimar com precisão a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de cultivares de aveia branca. Além de apresentar boa eficiência para visualizar cultivares de trigo

indicando produtividade de grãos ajustada a estabilidade às condições ambientais (Franceschi *et al.*, 2010).

As recomendações de cultivares são realizadas da proposta inicial apresentada por Finlay e Wilkinson (1963), em que cultivares que apresentam adaptabilidade específica a ambientes favoráveis são consideradas de alto risco para o cultivo em regiões de baixa tecnologia (e/ou com problemas edafoclimáticos), pois reduzem significativamente seus rendimentos devido a condições desfavoráveis. Já cultivares que apresentam adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis são considerados constituições rústicas, pois

mesmo em condições adversas, mantém seus rendimentos. Assim, são sugeridas áreas de baixa tecnologia, pois não respondem satisfatoriamente aos investimentos que normalmente se fazem em ambientes mais tecnificados (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2004).

Na metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), o genótipo preconizado como ideal corresponde aquele com média elevada (β_{0i}), adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$), e que seja capaz de responder com a melhoria do ambiente ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$), além de apresentar desvios da variância não significativo ($\sigma^2_{\delta i}$) representando estabilidade.

Tabela 3. Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaquí, RS.

Cruz, Torres e Vencovsky (1989)							
Cultivar	Média dos ambientes			β_{1i}	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$	$\sigma^2_{\delta i}$ (x10 ⁵)	R ² (%)
	Geral (β_{0i})	-	+				
UPFA Gaudéria	1326 A [†]	971	1894	1,18ns	1,39ns	2,14*	85,00
UPFA Ouro	1396 A	1012	2009	1,34**	0,53ns	4,05**	76,83
UPFPS Farroupilha	1385 A	1126	1799	0,99ns	1,04ns	2,50**	76,87
IPR Afrodite	1276 A	888	1897	1,24*	0,35*	1,02ns	91,76
FAEM 04 Carlasul	1232 A	962	1665	0,91ns	0,53ns	5,08**	55,69
URS Taura	1280 A	950	1806	1,10ns	1,21ns	3,32**	75,71
URS Corona	1398 A	1216	1691	0,51**	2,11**	2,03**	56,27
URS Brava	1187 A	979	1519	0,69**	0,79ns	1,85*	68,77

** , *; significativo a 1 e 5%, respectivamente. ns: não significativo. [†] Médias seguidas pela mesma letra não diferem, pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

Na Tabela 3, os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são expostos. Observa-se que nenhuma cultivar apresenta características para ser selecionada como genótipo ideal. A cultivar FAEM 04 Carlasul apresentou ter adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$), não respondendo com a melhoria ambiental. O inverso é encontrado para as cultivares UPFA Gaudéria e URS Taura, onde apresentaram ter pouca adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, porém, tem capacidade de responder com a melhoria ambiental sendo classificadas como adaptadas a ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$). Para as cultivares URS Brava e UPFA Ouro, apresentaram ter baixa adaptabilidade a ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} < 1$).

Sendo classificada como cultivar de ampla adaptabilidade, a cultivar UPFPS Farroupilha, apresentou ter boas respostas a ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$) e respondendo bem a melhoria ambiental na presença de ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$).

Para as características de estabilidade através da significância do desvio da regressão ($\sigma^2_{\delta_i}$) e do coeficiente de determinação (R^2), as cultivares IPR Afrodite ($\sigma^2_{\delta_i} = ns$) e UPFA Gaudéria (R^2 85%), foram consideradas como cultivares estáveis. Genótipos que apresentam alta

estabilidade, não necessariamente apresentarão altos valores de rendimentos de grãos (Franceschi *et al.*, 2010; Bornhofen *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2002; Filho *et al.*, 2007). Mesmo que o rendimento de grãos seja umas das mais importantes características para a recomendação de cultivares, a seleção da cultivar não deve ser baseada somente na sua produtividade ao longo dos anos, mas também na sua estabilidade de produção (Luche *et al.*, 2013).

A metodologia proposta por Lin e Binns (1988), em que a estimativa é interpretada por meio da estatística P_i , em que, quando um genótipo apresentar menores valores (P_i 's), mais adaptado e estável será para o ambiente geral. Assim, se considera de fácil aplicação e interpretação, pelo fato de possibilitar maior entendimento, associando a maior produtividade com maior estabilidade (Farias *et al.*, 1997).

Nesse sentido, para os ambientes favoráveis, as cultivares que apresentaram os menores valores (P_i 's), resultando em maior adaptabilidade e estabilidade foram IPR Afrodite, UPFA Ouro e UPFA Gaudéria (Tabela 4). Para ambientes desfavoráveis, a cultivar URS Corona apresentou o menor valor. E por fim, para valores de P_i geral, a cultivar URS Corona apresentou maior adaptabilidade e

estabilidade geral, sendo assim, índice P_i é um dos melhores métodos para evidenciando ampla adaptação aos o ranqueamento de genótipos, pois está diversos ambientes, permitindo sua associado ao rendimento de grãos e ao recomendação com maior exatidão. De conceito de estabilidade, além da facilidade acordo com Mohammadi *et al.* (2010) e do uso e interpretação do mesmo. Sabaghnia *et al.* (2006), afirmam que o

Tabela 4. Estimativas de adaptabilidade e estabilidade segundo o método de Lin e Binns (1988), para rendimento de grãos de oito (8) cultivares de aveia branca avaliadas em 13 ambientes de cultivo na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Itaqui, RS.

Lin e Binns (1988)				
Cultivar	Média	P_i favorável ($\times 10^5$)	P_i desfavorável ($\times 10^5$)	P_i geral ($\times 10^5$)
UPFA Gaudéria	1326 A'	2,10	2,43	2,31
UPFA Ouro	1396 A	2,04	2,08	2,07
UPFPS Farroupilha	1385 A	3,35	2,10	2,58
IPR Afrodite	1276 A	2,04	2,73	2,47
FAEM 04 Carlasul	1232 A	4,61	2,41	3,26
URS Taura	1280 A	3,43	1,92	2,50
URS Corona	1398 A	3,84	0,45	1,76
URS Brava	1187 A	5,47	2,11	3,40

' Médias seguidas pela mesma letra não diferem, pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

Nos resultados encontrados pelo método de Eberhart e Russel (1966), há poucas semelhanças com os obtidos pelo método de Lin e Binns (1988), somente para os ambientes favoráveis e um determinado genótipo nos ambientes desfavoráveis.

Para a metodologia do GGE Biplot (Figura 1), verificou-se uma variância de 58,43% derivada da decomposição de valores genotípicos singulares (G) e efeitos da interação genótipo e ambiente (GxE)

para o rendimento de grãos (Santos; Marza, 2020). O genótipo ideal deve ter o desempenho médio superior com alto valor positivo de PC1, e ter valor absoluto próximo de zero em PC2, se mostrando assim estável (Akçura *et al.*, 2011). A adaptabilidade de um genótipo está altamente correlacionada com o desempenho, sendo observado em relação ao eixo x (PC1), já a estabilidade é indicada pelo eixo y (PC2).

Para a adaptabilidade de genótipos, na direção horizontal (PC1), quanto mais alto (positivo) e mais baixo (negativo) é seu valor, mais produtivo indicando maior adaptabilidade e menos produtivo indicando menor adaptabilidade será, respectivamente (Liu *et al.*, 2022). Assim para as cultivares 2, 3, 4, 1 e 8 (UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, UPFA Gaudéria e URS Brava) foram as que apresentaram maiores valores para adaptabilidade. Já as cultivares que apresentaram menores valores foram 7 e 5 (URS Corona e FAEM 04 Carlasul) possuindo assim menor adaptabilidade.

De acordo com a estabilidade, apenas a cultivar 8 (URS Brava) foi classificada como estável, esta por estar mais próxima do eixo PC2. Já o restante das cultivares apresentaram as maiores distâncias do eixo, representando assim serem menos estáveis. Genótipos menos estáveis terão maiores valores de PC2, sendo eles mais sensíveis à interação ambiental quando comparada aos genótipos que possuem menores valores (próximos a 0) em que são menos sensíveis as mudanças ambientais, caracterizando-os como estáveis. (Tolessa; Gela, 2014; Yan *et al.*, 2000; Yan; Kang, 2003).

Genótipos que possuem grandes valores no PC2, sendo elas positivas ou negativas, expressam grandes interações

com o ambiente, enquanto genótipos que apresentam valores de PC2, zero ou então quase zero, indicam menores interações. Dessa forma quanto mais próximo o genótipo estiver da origem indica desempenho mais estável (Gupta *et al.*, 2023).

Para a discriminação de ambientes, o tamanho do vetor desempenha papel fundamental. O comprimento do vetor de um ambiente, é proporcional ao desvio padrão das médias das cultivares no determinado ambiente, sendo assim, uma medida de discriminação desse ambiente (Gupta *et al.*, 2023). Assim, ambientes com vetores mais longos, mais longe da origem do biplot, serão mais discriminativos, apresentado maiores informação do comportamento dos genótipos. Se um ambiente apresentar um vetor muito curto apresentará menores discriminações dos genótipos, significando que todas as constituições genéticas tiveram desempenho semelhante, portanto, fornecendo pouca ou nenhuma informação sobre diferenças genotípicas (Liu *et al.*, 2022). Corroborando com os resultados encontrados na Tabela 1, em que ambientes com menores vetores (ambiente 1, 2, 11 e 12) não forneceram diferenças entre cultivares, já o restante dos ambientes em que apresentam vetores mais distantes da origem, ocasionaram em maiores diferenças entre o comportamento dos genótipos.

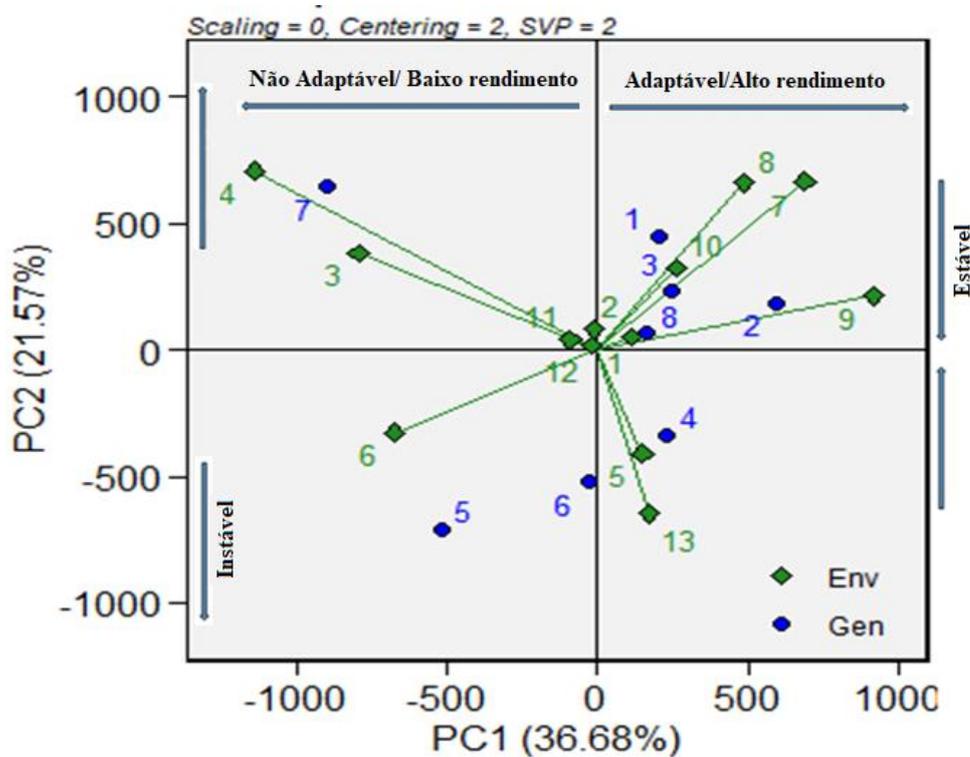


Figura 1: Análise GGE: Biplot básico das cultivares: UPFA Gaudéria (1), UPFA Ouro (2), UPFPS Farroupilha (3), IPR Afrodite (4), FAEM 04 Carlusul (5), URS Taura (6), URS Corona (7) e URS Brava (8). E ambientes: 1 – 2013 com fungicida; 2 – 2013 sem fungicida; 3 – 2015 com fungicida; 4 – 2015 sem fungicida; 5 – 2016 com fungicida; 6 – 2016 sem fungicida; 7 – 2018 com fungicida; 8 – 2018 sem fungicida; 9 – 2019 com fungicida; 10 – 2020 com fungicida; 11 – 2021 com fungicida; 12 – 2022 com fungicida; 13 – 2023 com fungicida.

De modo geral, não é possível a identificação de um genótipo que tenha capacidade de se destacar para todos os métodos utilizados. Isso demonstra a dificuldade da recomendação de um genótipo como ideal, embora seja possível a recomendação de genótipos de aveia branca que tenham adaptabilidade para um ambiente específico (Rother *et al.*, 2019). Isso mostra a importância da utilização de mais de uma metodologia para estimar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de aveia branca, tornando a recomendação

de cultivares mais precisa, visto que nem todas apresentam concordância de dados.

Ainda assim, a utilização de mais de um método de análise de estabilidade podem resultar na identificação de genótipos estáveis, mesmo quando não há interação entre as metodologias (Fasahat *et al.*, 2015).

Dessa maneira, o produtor ainda deverá selecionar genótipos de acordo com a sua realidade, devendo considerar principalmente o nível tecnológico empregado para escolher a melhor cultivar

para a implantação (Yamamoto, 2018). Assim, ambientes que apresentam maior tecnologia de cultivo e/ou ainda que apresentam condições edafoclimáticas ótimas para o desenvolvimento da cultura, devem se dar preferência para cultivares com adaptabilidade a ambientes favoráveis, do contrário, com condições edafoclimáticas mais incertas e com menor tecnologia de cultivo, cultivares com adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e/ou que apresentam estabilidade de produção seriam a melhor opção. Portanto, dependendo das condições ambientais e do nível tecnológico empregado pelo agricultor, se justifica a empregabilidade de uma cultivar específica que atenda ao requisito de adaptabilidade e/ou estabilidade.

4. CONCLUSÕES

As cultivares, pela metodologia de Eberhart e Russel, que apresentam adaptabilidade a ambientes favoráveis foram UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, IPR Afrodite e URS Taura. Que apresentaram adaptabilidade a ambientes desfavoráveis a FAEM 04 Carlasul, URS Corona e URS Brava. As cultivares com estabilidade foram a UPFA Gaudéria, IPR Afrodite e URS Brava. A cultivar UPFPS Farroupilha apresentou ter ampla adaptabilidade.

Para a metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky, as cultivares que apresentaram adaptabilidade a ambientes favoráveis foram a UPFA Gaudéria e URS Taura, adaptabilidade para ambientes desfavoráveis a cultivar FAEM 04 Carlasul. Para estabilidade as cultivares UPFA Gaudéria e IPR Afrodite. E que apresentou ter ampla adaptabilidade a UPFPS Farroupilha.

Para a metodologia de Lin e Binns, as cultivares com adaptabilidade para ambientes favoráveis foram UPFA Gaudéria, UPFA Ouro e IPR Afrodite. Para adaptabilidade a ambientes desfavoráveis a cultivar URS Corona. E apresentando adaptabilidade e estabilidade geral a URS Corona.

Para o método GGE Biplot, cultivares que apresentaram maior adaptabilidade a ambientes favoráveis foram a UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite e URS Brava. Apresentando adaptabilidade para ambientes desfavoráveis as cultivares FAEM 04 Carlasul e URS Corona. E que apresenta estabilidade, somente URS Brava.

De modo geral entre as metodologias, as cultivares que apresentaram mais classificações com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis foram a UPFA Gaudéria, UPFA

Ouro e IPR Afrodite. Já com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis a FAEM 04 Carlasul e URS Corona. Apresentando ter ampla adaptabilidade, a cultivar UPFPS Farroupilha, que se adapta bem às mudanças ambientais, seja para condições favoráveis como desfavoráveis. Que apresentam estabilidade, apenas as cultivares UPFA Gaudéria, IPR Afrodite e URS Brava.

5. REFERÊNCIAS

- AKÇURA, M. et al. Evaluation of bread wheat genotypes under irrigated multi-environment conditions using GGE biplot analyses. *Zemdirbyste-Agriculture*, v.98, n.1, p.35-40, 2011, doi: 633.11:631.526:32:631.524.01.
- ARAUS, J.L. et al. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Crit. Rev. Plant Sci.*, v.27, n.6, p.377-412, 2008, doi: 10.1080/07352680802467736.
- BAZZO, J.H.B. et al. Yield performance of oat cultivars in response to sowing dates and densities. *Ciênc. Agrár. Londrina*, v.42, n.5, p.2785-2800, 2021, doi: 10.5433/1679-0359.2021v42n5p2785.
- BITTENCOURT, M.N. Adaptabilidade e estabilidade em aveia forrageira. 2020. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Agronomia, 2020.
- BORGES, D.C.; MACHADO, A.C.Z.; INOMOTO, M.M. Reação de aveias a *Pratylenchus brachyurus*. *Trop. Plant Pathol.*, v.35, n.3, p.178-181, 2010, doi: 10.1590/S1982-56762010000300007.
- BORNHOFEN, E. et al. Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Bragantina*, v.76, n.1, p.1-10, 2017, doi: 10.1590/1678-4499.557.
- CARNEIRO, P.C.S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. 1989. 177f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- CASAGRANDE, C.R. et al. Envirotypes applied to evaluate the adaptability and stability of wheat genotypes in the tropical region in Brazil. *Euphytica*, v.220, n.24, p.1-21, 2024, doi: 10.1007/s10681-023-03286-y.
- CASSOL, G.V. Sistemas de implantação, irrigação e alterações fisiológicas de plantas de soja sob cultivo em terras baixas. 2017. 142f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Brasília, v. 11, safra 2021/22, n. 6, 2024.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica das safras. Brasília, 2024.
- CRESTANI, M. et al. Conteúdo de β -glucana em cultivares de aveia branca cultivadas em diferentes ambientes. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.45, n.3, p.261-268, 2010, doi: 10.1590/S0100-204X2010000300005.
- CRUZ, C.D. GENES – A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci., Agron.*, v.35, n.3, p.271-276, 2013, doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.

- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2006.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2ª edição. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2001.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Rev. Brasil. Genet.*, v.12, n.3, p.567-580, 1989.
- DEUNER, C.C. et al. Manejo de doenças. In: DANIELOSKI, R. et al. (Org.). Indicações técnicas para a cultura da aveia. Três de Maio: SETREM, 2021.
- DORNELLES, E.F. et al. The efficiency of Brazilian oat cultivars in reducing fungicide use for greater environmental quality and food safety. *Univers. J. Plant Sci.*, v.15, n.7, p.1835-2707, doi: 10.21475/ajcs.21.15.07.p3175.
- DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*, v.6, n.1, p.36-40, 1966.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 2018.
- FARIA, S.V. et al. Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. *Rev. Ciênc. Agron*, v.48, n.2, p.347-357, 2017, doi: 10.5935/1806-6690.20170040.
- FARIAS, F.J.C et al. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método da regressão. *Pesq. Agropec. Bras*, v.32, n.4, p.407-414, 1997.
- FASAHAT, P. et al. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. *Biom. Biostat. Int. J.*, v.2, n.5, p.149-159, 2015, doi: 10.15406/bbij.2015.02.00043.
- FILHO, A.C. et al. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. *Bragantia*, v.66, n.4, p.571-578, 2007, doi: 10.1590/S0006-87052007000400006.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, v.14, p.742-754, 1963.
- FONTOURA, J.A.S.J. et al. Simulation of different arrangements of integrated systems in lowland areas. *Braz. J. Dev.*, v.6, n.8, p.63059-63077, 2020, doi: 10.34117/bjdv6n8-659.
- FRANCESCHI, L. et al. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do Paraná. *Bragantia*, v.69, n.4, p.797-805, 2010, doi: 10.1590/S0006-87052010000400004.
- GUPTA, V. et al. AMMI and GGE biplot analysis of yield under terminal heat tolerance in wheat. *Mol. Biol. Rep.*, v.50, p.3459-3467, 2023, doi: 10.1007/s11033-023-08298-4.

- HAWERROTH, M.C. et al. Adaptability and stability of white oat cultivars in relation to chemical composition of the caryopsis. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.48, n.1, p. 42-50, 2013, doi: 10.1590/S0100-204X2013000100006.
- HOWARTH, C.J. et al. Genotype and environment affect the grain quality and yield of winter oats (*Avena sativa* L.). *Foods*, v.10, n.10, p.1-14, 2021, doi: 10.3390/foods10102356.
- IRGA - Instituto Riograndense do Arroz. Boletim de resultados da safra 2022/2023 em terras baixas: arroz irrigado e, soja e milho em rotação. Boletim de resultados, IRGA - Instituto Riograndense do Arroz, 2024.
- KARELOV, A. et al. Wheat genes associated with different types of resistance against stem rust (*Puccinia graminis* Pers.). *Pathogens*, v.11, n.1157, p.1-21, 2022, doi: 10.3390/pathogens11101157.
- KHAN, M.M.H. et al. AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). *Sci. Rep.*, v.11, n.22791, p.1-17, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-01411-2.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.*, v.68, p.193-198, 1988.
- LIU, Q. et al. Genotype–environment interaction of crocin in *Gardenia jasminoides* by AMMI and GGE biplot analysis. *Food Sci. Nutr.*, v.10, n.11, p.4080-4087, 2022, doi: 10.1002/fsn3.3003.
- LORENCETTI, C. et al. Implicações da aplicação de fungicida na adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos em aveia branca. *Cienc. Rural*, v.34, n.3, p.693-700, 2004, doi: 10.1590/s0103-84782004000300007.
- LUCHE, H.S. et al. Parameters of adaptability and stability in brazilian and exotic cultivars of white oat. *Curr. Agric. Sci. Technol.*, v.19, n.1, p.31-40, 2013.
- MALANCHEN, B.E. et al. Composição e propriedades fisiológicas e funcionais da aveia. *Fag Journal of Health (FJH)*, v.1, n.2, p.185-200, 2019, doi: 10.35984/fjh.v1i2.86.
- MANTAI, R.D, et al. Technical and agronomic efficiency of nitrogen use on the yield and quality of oat grains. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, v.25, n.8, p.529-537, 2021, doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p529-537.
- MAROLLI, A. et al. A combination of regression and internal point methods as a hybrid model for estimating oat plant productivity. *Genetics and Molecular Research (GMR)*, v.20, n.2, p.1-17, 2021, doi: 10.4238/gmr18756.
- MOHAMMADI, R. et al. Interpreting genotype x environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. *Euphytica*, v.157, p.239-251, 2007, doi: s10681-007-9417-3.
- NAZARENO, E.S. et al. M. *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*: a threat to global oat production. *Mol. Plant Pathol.*, v.19, n.5, p.1047-1060, 2018, doi: 10.1111/mpp.12608.
- NÖRNBERG, R et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de aveia branca. *Ciênc. Agrár. Ambient.*, v.12, n.3, p.181-190, 2014, doi: 10.7213/academica.12.03.AO03.

- OLIVEIRA, A.C.B. et al. Comportamento de genótipos de soja em avaliação final na safra 2015/16 em Capão do Leão-RS. In: Reunião De Pesquisa De Soja Da Região Sul. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2016.
- OLIVEIRA, J.S. et al. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. R. Bras. Zootec., v.31, n.2, p.883-889, 2002, doi: 10.1590/S1516-35982002000400011.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- RAMALHO, M.A.P. et al. Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas. Lavras: Editora UFLA, 2012.
- REGINATTO, D.C. et al. Sustainable management of nitrogen in oats based on stability parameters. Genetics and Molecular Research (GMR), v.21, n.4, p.1-14, 2022, doi: 10.4238/gmr19037.
- ROLIM, R.R. et al. Genotype x environment interaction and stability in landraces of cowpea under dryland conditions. Rev. Caatinga, v.36, n.2, p.339-348, 2023, doi: 10.1590/1983-21252023v36n211rc.
- ROOSTAEI, M. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. Crop J., v.2, n.2, p.154-163, 2014, doi: 10.1016/j.cj.2014.02.002.
- ROTHER, V. et al. Uni and multivariate methods applied to the study of the adaptability and stability of white oat. Pesq. Agropec. Bras., v.54, n.656, p.1-10, 2019, doi: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00656.
- SABAGHNIA N. et al. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. Crop Sci., v.46, n.3, p.1100-1106, 2006, doi: 10.2135/cropsci2005.06-0122.
- SÁNCHEZ-MARTÍN, J. et al. Targeting sources of drought tolerance within an *Avena* spp. collection through multivariate approaches. Planta, v.236, n.5, p.1529-1545, 2012, doi: 10.1007/s00425-012-1709-8.
- SANTOS, F.; MARZA, F. Selection of forage oat genotypes through GGE Biplot and BLUP. BioRxiv, p.1-9, 2020, doi: 10.1101/2020.03.10.986422.
- SILVA, J.A.G. et al. Adaptability and stability of yield and industrial grain quality with and without fungicide in brazilian oat cultivars. Am. J. Plant Sci., v.6, n.9, p.1560-1569, 2015, doi: 10.4236/ajps.2015.69155.
- SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: Simpósio de estatística aplicada a experimentação agrônômica, 1985. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- SILVA, W.C.J.; DUARTE, J.B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. Pesq. Agropec. Bras., v.41, n.1, p.23-30, 2006, doi: 10.1590/S0100-204X2006000100004.
- SILVEIRA, G. et al. Efeito da densidade de semeadura e potencial de perfilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo. Bragantia, v.69, n.1, p.63-70, 2010, doi: 10.1590/S0006-87052010000100009.
- SOSBAI. Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Restinga

- Seca, RS: SOSBAI; Porto Alegre, RS: Epagri, Embrapa, Irga, UFPel, UFRGS, UFSM, 2022.
- TOLESSA, T.T.; GELA, T.S. Sites regression GGE biplot analysis of haricot bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in three contrasting environments. World J. Agric. Res., v.2, n.5, p.228-236, 2014, doi: 10.12691/wjar-2-5-5.
- WREGGE, M.S. et al. Atlas Climático da Região Sul. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2012.
- YAMAMOTO, E.L.M. Interação genótipos x ambientes e variação espacial em experimentos de avaliação de genótipos de milho no Brasil central. 2018. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.
- YAN, W. et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci., v.40, n.3, p.597-605, 2000, doi: 10.2135/cropsci2000.403597x.
- YAN, W.; KANG, M.S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Flórida: Boca Raton, 2003.
- MATTOS, M.L.T. et al. Nodulação em genótipos de soja tolerantes ao encharcamento do solo. In: Reunião de pesquisa de soja da região sul, 2016. Anais... Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2016.
- YAN, W.; TINKER, N.A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci., v.86, n.3, p.623-645, 2006, doi: 10.4141/P05-169.

6. ANEXOS

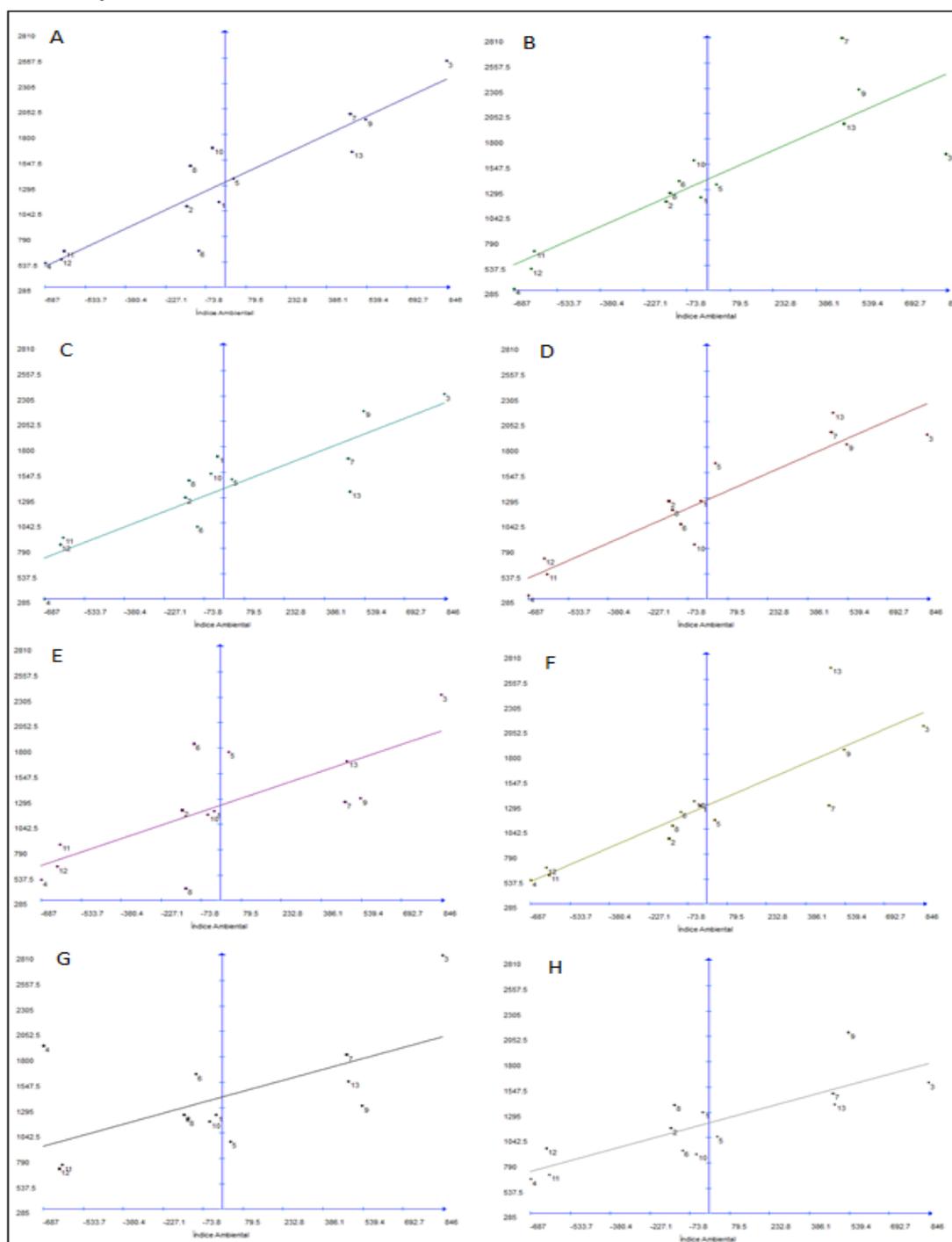


Figura 2: Análise de regressão do método de Eberhart e Russel (1966) das cultivares: UPFA Gaudéria (a); UPFA Ouro (b); UPFPS Farrroupilha (c); IPR Afrodite (d); FAEM 04 Carlusul (e); URS Taura (f); URS Corona (g) e URS Brava (h). E ambientes: 1 – 2013 com fungicida; 2 – 2013 sem fungicida; 3 – 2015 com fungicida; 4 – 2015 sem fungicida; 5 – 2016 com fungicida; 6 – 2016 sem fungicida; 7 – 2018 com fungicida; 8 – 2018 sem fungicida; 9 – 2019 com fungicida; 10 – 2020 com fungicida; 11 – 2021 com fungicida; 12 – 2022 com fungicida; 13 – 2023 com fungicida.

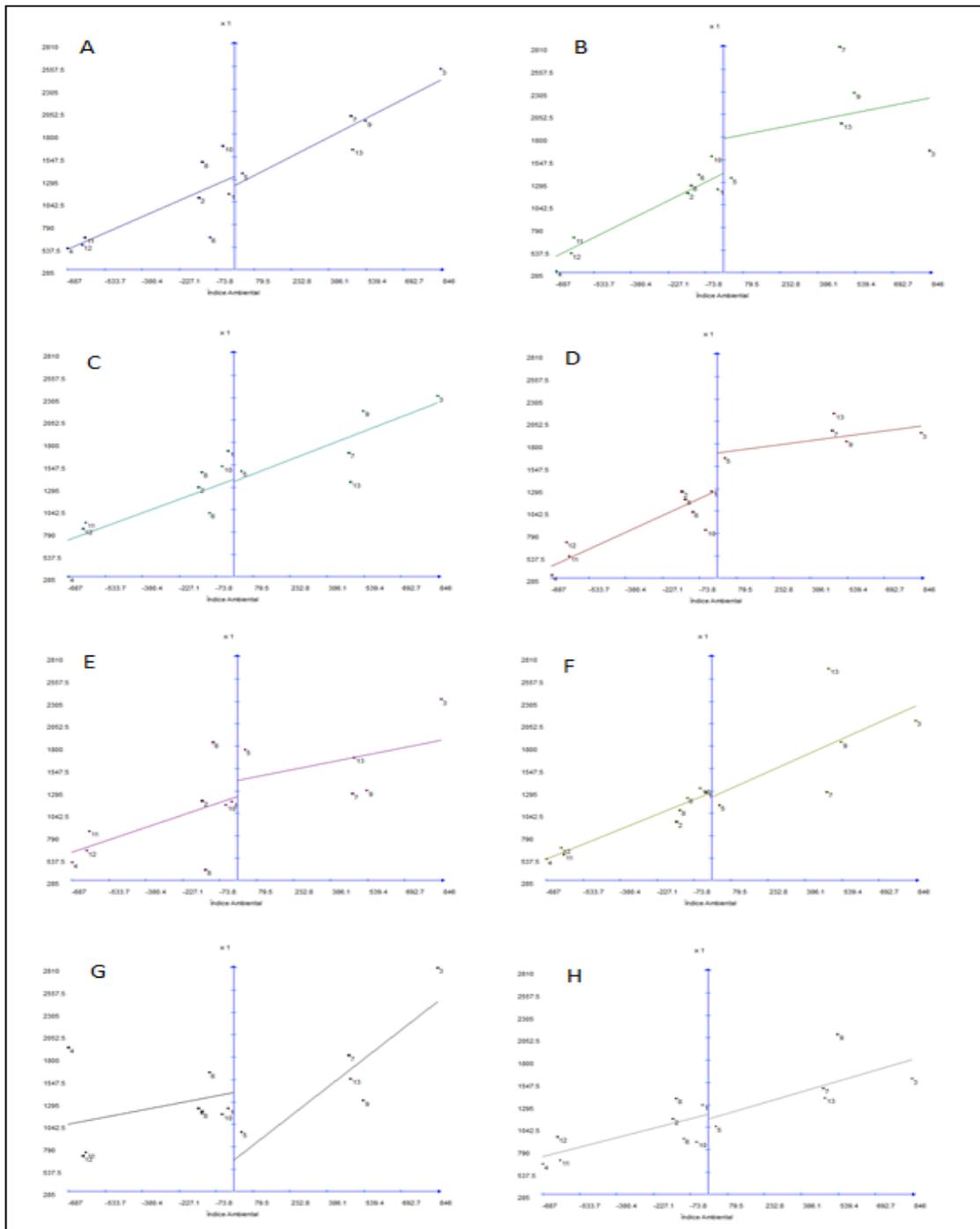


Figura 3: Análise de regressão do método de Cruz, Torres e Vencovsky (1998) das cultivares: UPFA Gaudéria (a); UPFA Ouro (b); UPFPS Farroupilha (c); IPR Afrodite (d); FAEM 04 Carlusul (e); URS Taura (f); URS Corona (g) e URS Brava (h). E ambientes: 1 – 2013 com fungicida; 2 – 2013 sem fungicida; 3 – 2015 com fungicida; 4 – 2015 sem fungicida; 5 – 2016 com fungicida; 6 – 2016 sem fungicida; 7 – 2018 com fungicida; 8 – 2018 sem fungicida; 9 – 2019 com fungicida; 10 – 2020 com fungicida; 11 – 2021 com fungicida; 12 – 2022 com fungicida; 13 – 2023 com fungicida.