UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL

ODENIS ALESSI

MODELAGEM DO PROGRESSO DE DOENÇAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE AVEIA À REDUÇÃO NO USO DE FUNGICIDA

IJUÍ, RS, 2022

Odenis Alessi

MODELAGEM DO PROGRESSO DE DOENÇAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE AVEIA À REDUÇÃO NO USO DE FUNGICIDA

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, como requisito necessário para obtenção do grau de Doutor em Modelagem Matemática.

José Antonio Gonzalez da Silva
Professor Orientador

Ijuí, RS, 2022

Catalogação na Publicação

A372m

Alessi, Odenis.

Modelagem do progresso de doenças foliares e produtividade em cultivares de aveia à redução no uso de fungicida / Odenis Alessi. – Ijuí, 2022.
139 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Campus Ijuí). Modelagem Matemática e Computacional.

"Orientador: José Antonio Gonzalez da Silva."

1. Avena sativa L.. 2. Matemática aplicada. 3. Inteligência artificial. 4. Redução de agrotóxicos. 5. Sustentabilidade. I. Silva, José Antonio Gonzalez da. II. Título.

CDU: 510.67:633.13

Cristina Libert Wiedtkenper
CRB 10/2651

UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese

Modelagem do Progresso de Doenças foliares e produtividade em cultivares de aveia a redução no uso de fungicida

Elaborado por

ODENIS ALESSI

Como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Modelagem Matemática

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Antonio Gonzalez da Silva (Orientador/UNIJUÍ)

Prof. Dr. Manuel Osorio Binelo (UNIJUÍ)

Profª. Drª. Marcia de Fatima Brondani Binelo (UNIJUÍ)

Prof. Dr. Diego Pascoal Golle (UNICRUZ)

Prof. Dr. Geri Eduardo Meneghello (UFPel)

Profª. Drª. Ana Paula Brezolin Trautmann (IFRS)

Ijuí, RS, 05 de outubro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pela vida e pela oportunidade de estar realizando mais este objetivo. Obrigado pela proteção nas muitas viagens, pela proteção concedida a mim e a todos os meus amigos e familiares durante a pandemia. Obrigado pela força nos momentos difíceis, de desanimo e cansaço. Obrigado por sempre estar comigo.

Minha eterna gratidão aos meus pais Belarmo e Nelci e à minha irmã Simone, obrigado por todo o amparo, sacrifícios e esforços para proporcionar as melhores condições para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico. Vocês são a melhor família que eu poderia ter. Amo vocês.

À minha colega e amiga Vanessa Pansera. Não tenho palavras para descrever o quanto sua amizade é importante pra mim. Obrigado pelo companheirismo, pelos vários duetos que fizemos cantando durante as muitas viagens que fizemos indo e voltando de Ijuí, pelas conversas, conselhos, pelo suporte psicológico, pelos ótimos momentos compartilhados. Que a nossa amizade continue por toda a vida e mais seis meses.

Ao meu orientador Professor José Antônio Gonzalez da Silva, que aceitou (depois de muita insistência) me orientar. Obrigado pela oportunidade de ser seu orientando, por ter acreditado em mim, pelos seus ensinamentos. Tenho plena consciência do quanto cresci e aprendi com o senhor. Meu muito obrigado por tudo.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa Sistemas Técnicos de Produção Agropecuária, cada trabalho de pesquisa desenvolvido só é possível graças ao trabalho de cada membro do grupo, que não mede esforços em desenvolver qualquer atividade que seja proposta.

Ao funcionário e amigo Bruno, que sempre esteve disposto em realizar e ajudar nos trabalhos a campo. Obrigado por todo o suporte e pela amizade construída.

Ao programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, em especial a cada professor que contribuiu para a minha formação.

À UNIJUÍ e ao IRDeR que disponibilizaram toda a estrutura necessária para o desenvolvimento dessa pesquisa.
À FAPERGS pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores que aceitaram fazer parte da banca deste trabalho de tese, meu muito obrigado pela disponibilidade e sugestões de melhoria.

Por fim, gostaria de agradecer à todas as pessoas, familiares e amigos, que torceram e torcem pelo meu sucesso. Muito obrigado!

RESUMO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de grande importância agrícola. Durante o seu cultivo está sujeita ao ataque de doenças foliares, com destaque à ferrugem da folha e à helmintosporiose. A forma mais eficaz no controle destas doenças ocorre com a utilização de fungicidas. Entretanto, a concentração de aplicação do fungicida ocorre em estágios como a floração e enchimento de grãos, possibilitando à permanência de resíduos dos agrotóxicos nos grãos. Além disto, o uso indiscriminado do agente químico pode trazer graves prejuízos ao meio ambiente. No Brasil há uma grande quantidade de cultivares de aveia recomendadas para cultivo e a utilização de cultivares com maior resistência às doenças foliares e com maior eficiência em condições adversas de cultivo pode proporcionar a redução do uso de agrotóxicos. Desta forma, a modelagem matemática e computacional pode auxiliar na identificação de cultivares com maior resistência às doenças foliares e pode permitir a simulação do progresso destas doenças e da produtividade de grãos, auxiliando na redução do uso de fungicida, promovendo maior segurança alimentar. O objetivo do estudo é empregar a modelagem matemática e computacional na identificação de cultivares de aveia com maior resistência às doenças foliares e realizar a simulação do progresso das doenças foliares e produtividade de grãos de aveia, na identificação do manejo do fungicida que promova maior segurança alimentar. O experimento foi realizado nos anos de 2015 a 2020 no IRDeR, pertencente à UNIJUÍ. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, seguindo um esquema fatorial 22 x 5, para as 22 cultivares de aveia branca recomentada para o cultivo no Brasil e 5 condições de aplicações de fungicida, com três repetições. As condições de aplicação do fungicida foram: sem aplicação de fungicida; uma aplicação aos 60 dias após a emergência (DAE); duas aplicações (uma aos 60 e outra aos 75 DAE); três aplicações (uma aos 60, outra aos 75 e outra aos 90 DAE) e; quatro aplicações (uma aos 60, outra aos 75, outra aos 90 e outra aos 105 DAE). Na condição sem uso de fungicida as cultivares Corona, Brisasul, Afrodite, Farroupilha e Gaudéria apresentam as menores taxas de evolução de necrose foliar, com destaque à cultivar Farroupilha que possui características de adaptabilidade ampla e de estabilidade sobre a área foliar necrosada. A cultivar Altiva apresenta maior expressão da produtividade de grãos na ausência de fungicida e menor dependência ao uso do agrotóxico. A produtividade de grãos mostra relação negativa com a área foliar necrosada e positiva com a massa do hectolitro e a produtividade industrial. Destaca-se que na ausência e nas condições de presença de fungicida se evidenciam relações de causa e efeito semelhantes entre as variáveis. A área foliar necrosada apresenta grande número de correlações significativas negativas com variáveis ligadas a produtividade e qualidade de grãos, principalmente a massa de mil grãos e do hectolitro e produtividade de grãos e de indústria. A condição de duas aplicações de fungicida, uma aos 60 DAE e outra aos 75 DAE, reduz a expressão da necrose foliar e permite a obtenção de produtividade de grãos satisfatória, com elevado intervalo entre a colheita e a última aplicação do agrotóxico. O modelo de simulação da área foliar necrosada via redes neurais artificiais é mais eficiente no processo de simulação em relação ao modelo de regressão linear múltipla A técnica de otimização por algoritmo genético identifica que a avaliação da área foliar necrosada aos 87 dias após a emergência permite a melhor análise da área foliar necrosada com melhor estimativa da produtividade de grãos de aveia.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., matemática aplicada, inteligência artificial, redução de agrotóxicos, sustentabilidade.

ABSTRACT

White oat (Avena sativa L.) is a cereal of great agricultural importance. During its cultivation, it is subject to the attack of foliar diseases, especially leaf rust and helminthsporiosis. The most effective way to control these diseases occurs with the use of fungicides. However, the concentration of fungicide application occurs in stages such as flowering and grain filling, allowing the permanence of pesticide residues in the grains. In addition, the indiscriminate use of the chemical agent can cause serious damage to the environment. In Brazil, there are a large number of oat cultivars recommended for cultivation and the use of cultivars with greater resistance to foliar diseases and with greater efficiency in adverse cultivation conditions can reduce the use of pesticides. In this way, mathematical and computational modeling can help in the identification of cultivars with greater resistance to foliar diseases and can allow the simulation of the progress of these diseases and grain yield, helping to reduce the use of fungicide, promoting greater food security. The objective of the study is to use mathematical and computational modeling to identify oat cultivars with greater resistance to foliar diseases and to simulate the progress of foliar diseases and oat grain productivity, in identifying the fungicide management that promotes greater food security. The experiment was carried out from 2015 to 2020 at IRDeR, belonging to UNIJUÍ. The experimental design was randomized blocks following a 22 x 5 factorial scheme, for the 22 white oat cultivars recommended for cultivation in Brazil and 5 conditions of fungicide application, with three replications. The fungicide application conditions were: no fungicide application; one application at 60 days after emergence (DAE); two applications (one at 60 and another at 75 DAE); three applications (one at 60, another at 75 and another at 90 DAE) and; four applications (one at 60, another at 75, another at 90 and another at 105 DAE). In the condition without fungicide use, the cultivars Corona, Brisasul, Afrodite, Farroupilha and Gaudéria show the lowest rates of evolution of leaf necrosis, with emphasis on the cultivar Farroupilha, which has characteristics of broad adaptability and stability over the necrotic leaf area. The cultivar Altiva shows greater expression of grain yield in the absence of fungicide and less dependence on the use of pesticides. Grain yield shows a negative relationship with necrotic leaf area and a positive relationship with hectoliter mass and industrial productivity. It is noteworthy that in the absence and in the conditions of presence of fungicide, similar cause and effect relationships between the variables are evidenced. The necrotic leaf area presents a large number of significant negative correlations with variables related to grain yield and quality, mainly the mass of a thousand grains and hectoliter and grain and industry yield. The condition of two fungicide applications, one at 60 DAE and the other at 75 DAE, reduces the expression of leaf necrosis and allows obtaining satisfactory grain yield, with a long interval between harvest and the last pesticide application. The simulation model of the necrotic leaf area via artificial neural networks is more efficient in the simulation process in relation to the multiple linear regression model. The genetic algorithm optimization technique identifies that the evaluation of the necrotic leaf area at 87 days after emergence allows the better analysis of necrotic leaf area with better estimate of oat grain yield.

Keywords: *Avena sativa* L., applied mathematics, artificial intelligence, pesticide reduction, sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de variância para experimento bifatorial no delineamento em blocos ao acaso ... 26
Tabela 2: Componentes de D^2. ... 35
Tabela 3: Valores de temperatura, umidade e precipitação nos meses de cultivo e médias de produtividade de grãos e área foliar necrosada em aveia na classificação de ano agrícola. ... 47
Tabela 4: Área foliar necrosada (%) ao longo do ciclo de cultivo da aveia sem uso do fungicida. ... 54
Tabela 5: Taxa de evolução da área foliar necrosada ao longo do ciclo da aveia sem uso de fungicida. ... 56
Tabela 6: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a área foliar necrosada em cultivares de aveia em função dos anos agrícolas. ... 59
Tabela 7: Produtividade de grãos em cultivares de aveia, sem uso de fungicida nos anos agrícolas. ... 60
Tabela 8: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos em cultivares de aveia em função dos anos agrícolas na condição sem uso do fungicida. ... 61
Tabela 9: Médias de área foliar necrosada (%) em cultivares de aveia, avaliada aos 105 dias após emergência, nas condições de aplicação de fungicida. ... 68
Tabela 10: Regressão linear da área foliar necrosada (%) pelo número de aplicação de fungicida em cultivares de aveia, avaliada aos 105 dias após a emergência. ... 70
Tabela 11: Produtividade de grãos em cultivares de aveia pelas condições de uso de fungicida. ... 72
Tabela 12: Regressão linear da produtividade de grãos de aveia pelo número de aplicação de fungicida ... 75
Tabela 13: Frequência de comportamento superior de médias de área foliar necrosada e produtividade de grãos em cultivares de aveia nos anos de cultivo. ... 77
Tabela 14: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos em cultivares de aveia em função das condições de uso do fungicida nos anos de cultivo. ... 79
Tabela 15: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos e área foliar necrosada em cultivares de aveia em função das condições de uso do fungicida e dos anos de cultivo. ... 82
Tabela 16: Produtividade de grãos em cultivares de aveia pelas condições de uso de fungicida. ... 88
Tabela 17: Frequência de comportamento superior e inferior de médias de produtividade de grãos de aveia nos anos de cultivo. ... 90
Tabela 18: Médias de área foliar necrosada, produtividade e indicadores de qualidade de grãos de aveia nas condições de uso do fungicida. ... 91
Tabela 19: Médias do índice de descasque, do número de grãos maiores que 2 milímetros e da produtividade industrial da aveia pelas condições de uso do fungicida. ... 93

Tabela 20: Médias de indicadores da qualidade química de grãos de aveia no uso do fungicida. 94
Tabela 21: Regressões lineares e contribuição relativa dos indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia pelas condições de uso do fungicida. 95
Tabela 22: Correlação e trilha dos indicadores da produtividade, qualidade industrial e química de grãos de aveia com a produtividade de grãos nas condições de uso do fungicida.....98
Tabela 23: Correlação e trilha dos indicadores de produtividade, qualidade industrial e química de grãos de aveia com a área foliar necrosada nas condições de uso do fungicida. 103
Tabela 24: Variáveis meteorológicas em períodos quinzenais do ciclo de cultivo da aveia. 112
Tabela 25: Médias de área foliar necrosada a partir dos 60 dias após a emergência do ciclo de cultivo da aveia e médias de produtividade de grãos nas condições de uso de fungicida. 113
Tabela 26: Coeficientes das variáveis consideradas para cada modelo de regressão linear múltipla e resultados das simulações para cada modelo. 115
Tabela 27: Área foliar necrosada observada e simulada por regressão linear múltipla e RNA e valores de erro absoluto médio por ano agrícola. 117
Tabela 28: Otimização do melhor momento de avaliação da área foliar necrosada por algoritmo genético para simulação da produtividade de grãos de aveia para duas aplicações de fungicida....119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Croqui parcial do campo experimental.....20
Figura 2: Procedimentos e manejos realizados nos anos de cultivo. 21
Figura 3: Coleta de plantas e identificação da área foliar necrosada. 22
Figura 4: Manejo do fungicida, colheita e estimação da produtividade de grãos de aveia.....22
Figura 5: Estrutura de um neurônio artificial.....40
Figura 6: Exemplo de rede de camadas múltiplas.....42
Figura 7: Precipitação pluviométrica e temperaturas mínimas e máximas no cultivo da aveia. 49
Figura 8: Evolução da área foliar necrosada em cultivares de aveia com menor taxa de progresso da necrose foliar em comparação com a cultivar Taura, independente de ano agrícola.....57
Figura 9: Regressão linear da produtividade de grãos em cultivares de aveia em função do número de aplicação de fungicida, independente de ano agrícola. 76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 OBJETIVO GERAL 18
2.1 Objetivos Específicos 18
2.1.1 Objetivo Específico I 18
2.1.2 Objetivo Específico II 18
2.1.3 Objetivo Específico III 18
2.1.4 Objetivo Específico IV 18
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS GERAIS 19
4 MODELOS MATEMÁTICOS 25
4.1 Análise de variância 25
4.2 Teste de médias de Scott e Knott 28
4.3 Modelos de Regressão 29
4.3.1 Regressão Linear Simples 29
4.4 Modelo de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell 31
4.5 Modelo de Adaptabilidade e Estabilidade de Cruz, Torres e Vencovsky 33
4.6 Análise de Contribuição Relativa pelo método de Singh 34
4.7 Modelo de Correlação de Pearson 36
4.8 Análise de trilha 36
4.9 Regressão Linear Múltipla 38
4.10 Método de Seleção de Variáveis *Stepwise* 38
4.11 Redes Neurais Artificiais 40
4.12 Algoritmo Genético 43
5 CLASSIFICAÇÃO DOS ANOS AGRÍCOLAS 45
6 REGRESSÃO E ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE AVEIA MAIS RESISTENTES AS DOENÇAS FOLIARES SEM USO DE FUNGICIDA 51
6.1 Introdução 51
6.2 Materiais e Métodos 52
6.3 Resultados e Discussão 53
6.4 Conclusão 63
7 REGRESSÃO E TÉCNICAS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE AVEIA MAIS RESILIENTES A REDUÇÃO DE USO DE FUNGICIDA COM CENÁRIO METEOROLÓGICOS 64
7.1 Introdução 64
7.2 Materiais e Métodos 65
7.3 Resultados e Discussão 67

7.4 Conclusão 84

8 ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO RELATIVA E DE CORRELAÇÃO E TRILHA NO DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE FUNGICIDA SOBRE ALTERAÇÕES DE INDICADORES DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE AVEIA 85

8.1 Introdução 85

8.2 Materiais e Métodos 86

8.3 Resultados e Discussão 87

8.4 Conclusão 106

9 SIMULAÇÃO DO PROGRESSO DE DOENÇAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA AVEIA COM OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE APLICAÇÃO DO FUNGICIDA E DO MOMENTO DE AVALIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR NECROSADA 107

9.1 Introdução 107

9.2 Materiais e Métodos 109

9.3 Resultados e Discussão 112

9.4 Conclusão 121

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS 122

REFERÊNCIAS 124

ANEXO A - Principais características das cultivares de aveia branca indicadas para cultivo no Brasil. 134

1 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de grande importância agrícola, ocupando o sexto lugar nas estatísticas mundiais de cultivo, em que o milho (*Zea mays*), o arroz (*Oryza sativa*), o trigo (*Triticum aestivum*), a cevada (*Hordeum vulgare*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) ocupam as primeiras posições de produção (MA; ZHENG; REN, 2019; ISIDRO-SÁNCHEZ et al., 2020). O cultivo da aveia se concentra, principalmente, na União Europeia e em países como Rússia, Canadá, Estados Unidos, Austrália e China (FAO, 2021). No Brasil, seu cultivo ocorre nas regiões sudeste, centro-oeste e principalmente na região sul do país, caracterizando o cereal como uma espécie de estação fria (SPONCHIADO et al., 2020; PINTO et al., 2021). Apesar de não ser uma cultura amplamente difundida para a produção de grãos no país, o cultivo de aveia tem apresentado um aumento significativo nos últimos anos (NETO et al., 2019; COELHO et al., 2020).

Considerada um cereal de múltiplos propósitos, a aveia pode ser utilizada na sucessão e rotação de culturas, na cobertura de solos e na alimentação animal na forma de feno, silagem e na composição de rações (DA SILVA et al., 2015; SPONCHIADO et al., 2020). Recentemente, devido ao reconhecimento de componentes saudáveis nos seus grãos, como a fibra beta-glucana e antioxidantes, que possuem benefícios na redução de enfermidades cardiovasculares, do colesterol e estabilização do diabetes tipo II, a aveia passou a fazer parte da alimentação humana, sendo utilizada e indicada na elaboração de alimentos saudáveis (ISIDRO-SÁNCHEZ et al., 2020; MANTAI et al., 2020a). Além disto, potencial já é observado na utilização da aveia pela indústria farmacêutica, em que seus componentes passam a fazer parte da formulação de cosméticos, produtos farmacêuticos e nutracêuticos (MA; ZHENG; REN, 2019; BANAŚ; HARASYM, 2021). Por estes motivos, o consumo de alimentos e produtos derivados da aveia têm aumentado significativamente nos últimos anos, impulsionando o interesse da indústria e da área destinada ao seu cultivo (ISIDRO-SÁNCHEZ et al., 2020; DORNELLES et al., 2021).

A produção de aveia em larga escala, aliado à uniformidade genética das plantas utilizadas, proporciona maior vulnerabilidade de riscos epidêmicos durante o cultivo do cereal, especialmente à patógenos que causam doenças foliares (CHAVES; MARTINELLI, 2005; DORNELLES et al., 2021). Entre as doenças foliares, os fungos que causam a ferrugem da folha (*Puccinia coronata Cda. F.sp. avenae*) e a helmintosporiose [*Drechslera avenae (Eidam) El Sharif*] recebem maior atenção. Estas doenças, se não controladas e em condições meteorológicas favoráveis ao desenvolvimento dos fungos podem apresentar grande agressividade, comprometendo, significativamente, a produção de grãos (DIETZ; SCHIERENBECK; SIMÓN, 2019; DORNELLES et al., 2020).

Uma maneira de realizar o controle das doenças foliares está na utilização de cultivares que apresentam maior resistência genética aos fungos. No entanto, devido aos patógenos apresentarem características evolutivas, a resistência genética das cultivares não é duradoura (NAZARENO et al.,

2018; DORNELLES et al., 2021). Desta forma, a prática mais rápida e eficaz no controle das doenças foliares na aveia ocorre com a utilização de fungicidas. Contudo, a maior severidade destas doenças ocorre principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos da cultura, em que é observado o aumento da temperatura e elevada umidade relativa do ar. Isto implica na concentração de aplicação de fungicida nestes estágios de desenvolvimento das plantas até próximo à maturação, possibilitando a permanência de resíduos de agrotóxicos nos grãos (HOLLAND et al., 1994; NERBASS et al., 2010; JIANG et al., 2021). Como parte dos grãos de aveia são destinados a alimentação humana e sua utilização ocorre, principalmente, em sua forma "*in natura*", os riscos de ingestão de alimentos com resíduos de agrotóxicos são elevados (DA LUZ et al., 2017; DORNELLES et al., 2021). Além dos riscos à saúde humana, o uso indiscriminado de agrotóxicos pode causar danos ao meio ambiente, podendo causar a contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas e modificar o habitat natural de diversas espécies de animais (LEOCI; RUBERTI, 2021; RANI et al., 2021).

O Brasil é um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo, sendo a região sul responsável por aproximadamente 30% do consumo nacional dos agentes químicos (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018; PLUTH et al., 2020). Em relação à saúde humana, doenças como o câncer, diabetes, distúrbios respiratórios, distúrbios neurológicos, síndromes reprodutivas e estresse oxidativo estão relacionados à exposição direta, manuseio de agrotóxicos ou resíduos dos agentes químicos presentes nos alimentos (HASSAAN; EL NEMR, 2020; RANI et al., 2021). Resíduos de agrotóxicos podem ser encontrados em uma grande variedade de alimentos e bebidas, em que a lavagem e o descasque não são suficientes na remoção destes resíduos. Na maioria dos casos, as concentrações não excedem os níveis de segurança determinados pelas legislações, porém estes limites podem subestimar o risco real à saúde, principalmente quando há o caso da exposição simultânea à duas ou mais substâncias químicas (NICOLOPOULOU-STAMATI et al., 2016; MEKONNEN; SIRAJ; NEGASH, 2021).

Em relação ao meio ambiente, os agrotóxicos podem ser extremamente destrutivos a fauna e a flora, poluindo o solo, águas superficiais e subterrâneas e a vegetação. Além disto, podem ser prejudiciais para animais "não-alvo", como pássaros, peixes, insetos úteis e a vegetação nativa (RANI et al., 2021). Desta forma, a redução do uso de agrotóxicos e a promoção de uma agricultura mais sustentável é essencial para diminuir os riscos e impactos na saúde pública e no meio ambiente (DORNELLES et al., 2020; VAN DEN BERG et al., 2020).

No cultivo da aveia há um grande número de cultivares recomendadas ao cultivo, que se diferem quanto ao ciclo, estatura, resistência genética às doenças foliares e às respostas frente as alterações do ambiente (NAVA; PACHECO; FEDERIZZI, 2016; MARCOS et al., 2017). Os danos causados à produtividade e qualidade de grãos pelas doenças foliares e variações meteorológicas é agravada pela falta ou incorreta identificação e utilização de cultivares mais resistentes às doenças foliares e com

maior adaptabilidade às variações de ano agrícola, visto que estas condições refletem diretamente sobre o desenvolvimento dos fungos e dos processos biológicos das plantas (MARSHALL et al., 2013; COELHO et al., 2020). Além disto, o grande número de variáveis que influenciam nos processos de cultivo acaba dificultando as análises e uma tomada de decisão qualificada. Logo, a identificação de cultivares com maior resistência às doenças foliares e que apresentam maior eficiência fisiológica em condições adversas de cultivo pode proporcionar a redução do uso de agrotóxicos no cultivo da aveia, promovendo maior intervalo entre a colheita e última aplicação do agroquímico, garantindo maior segurança alimentar do cereal.

Uma ferramenta que tem permitido e qualificado o estudo na área das ciências agrárias é a modelagem matemática e computacional. A modelagem matemática é uma área do conhecimento que busca desenvolver maneiras de converter um problema real, associado a um conjunto de hipóteses, em um problema matemático (representado por um modelo) para posterior resolução (AGUIRRE, 2000; SAUSEN; SAUSEN; SAWICKI, 2015). A partir da implementação destes modelos, a modelagem matemática torna-se uma poderosa ferramenta que possibilita compreender, simular, otimizar e validar processos e sistemas reais. Além disto, por apresentar baixo custo e possibilitar a suposição de diferentes condições de simulação, a modelagem matemática e computacional tem se destacado não só como um complemento as pesquisas, mas também como protagonista em diferentes linhas do meio científico (CZOCHER, 2016; LOPATIEV et al., 2017; TEDESCHI; MENENDEZ, 2019).

No estudo de biossistemas, onde podem existir propriedades e interações complexas, a modelagem matemática e computacional permite evidenciar as relações existentes entre as variáveis envolvidas nos processos analisados (BERGEZ et al., 2012; CZOCHER, 2016). Na agricultura, permite o estudo do comportamento de cultivares frente às variações do clima, na validação de novas tecnologias de manejo, na simulação e previsão de safras, na otimização para minimização de custo e maximização de produção, na seleção de plantas em programas de melhoramento genético e auxiliado na tomada de decisão de controle de pragas (AUDSLEY; MILNE; PAVELEY, 2005; KOCIRA, 2018).

A estatística é uma ciência muito utilizada na realização da modelagem matemática e estudo de biossistemas, pois possibilita a coleta, a análise e a interpretação de dados qualitativos e quantitativos para tomada de decisões (SILVESTRE, 2007; FÁVERO; BELFIORE, 2017). Dentre as técnicas estatísticas mais utilizadas na área das ciências agrárias tem-se aquelas ligadas à estatística descritiva e à estatística inferencial. As técnicas pertencentes à estatística descritiva são aquelas que estão interessadas na mensuração de características dos elementos de toda a população, como as medidas de posição e variação. Já as técnicas ligadas à estatística inferencial são utilizadas para inferir conclusões sobre um grupo a partir de uma amostra deste grupo, se utilizando de ferramentas

probabilísticas (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Das técnicas ligadas à estatística inferencial, a análise de regressão recebe grande destaque, pois permite relacionar uma ou mais variáveis independentes à uma variável dependente (SILVA; DE MATTOS, 2017; EVSTATIEV; GABROVSKA-EVSTATIEVA, 2021). Além disto, a análise de regressão é capaz de evidenciar a tendência do comportamento dos dados, auxiliar na estimação de taxas que representam a dependência entre a variável resposta em função de uma variável explicativa (SILVA et al., 2015; MARCOS et al., 2016; PEREIRA UCHOA et al., 2018; MANTAI et al., 2021a).

A estatística quando aplicada no campo biológico, em especial no estudo genético, recebe o nome de biometria. Modelos biométricos auxiliam na manipulação de grande volume de dados e fornecem subsídios para um adequado processamento dos mesmo, além de possibilitar a estimação adequada de parâmetros estatísticos e na interpretação apropriada dos fenômenos estudados (SHARMA, 2006; CRUZ; CARNEIRO; BHERING, 2021). Uma das possibilidades de uso da biometria está na interpretação e avaliação de características de adaptabilidade e estabilidade de cultivares frente às variações meteorológicas e de manejos. Muitas destas avaliações são baseadas através do cálculo de um índice ambiental, permitindo interpretar e descrever processos mais eficientes, adaptados e estáveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; LARA et al., 2019).

A modelagem matemática e computacional também pode ser realizada através da aplicação de métodos multivariados. A análise multivariada de dados é uma área constituída de técnicas estatísticas que analisam simultaneamente múltiplas variáveis e medidas sobre um indivíduo ou objeto de investigação (HAIR; BLACK; SANT'ANNA, 2009; NEISSE; HONGYU, 2016; FERREIRA, 2020). Na agricultura, a análise multivariada auxilia no estudo da relação existente entre duas ou mais variáveis, permitindo determinar a magnitude de influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes. Além disto, pode ser uma ferramenta para a seleção de variáveis utilizadas no desenvolvimento de modelos de simulação. (MOURA et al., 2020; WANG et al., 2020). Alguns métodos multivariados permitem analisar a diversidade genética entre plantas a partir de caracteres morfológicos, em que juntamente com métodos multivariados de agrupamento é possível identificar grupos de cultivares com maior resistência genética às doenças, auxiliando na seleção de plantas para programas de melhoramento genético (CHAGAS et al., 2016; MACIEL et al., 2018).

Modelos matemáticos também são capazes de representar o desenvolvimento de diversas doenças, em que a modelagem deste comportamento permite evidenciar a relação de desenvolvimento do patógeno com o tempo, facilitando o entendimento e a análise de dados experimentais e permitindo a previsão de níveis futuros da epidemia e a construção de estratégias de controle (VAN MAANEN; XU, 2003; BHARDWAJ; BANYAL; ROY, 2021). Uma técnica que pode ser utilizada na modelagem do progresso de doenças é a análise de regressão linear múltipla, que possibilita a combinação de variáveis controladas e não controladas para a realização de simulações e previsões que explicam os

efeitos de variáveis independentes sobre uma variável principal (MANTAI et al., 2016a; MAROLLI et al., 2018).

O estudo de sistemas agrários pode apresentar alta complexidade devido ao grande número de variáveis que influenciam nos processos de cultivo, dificultando a construção de modelos voltados à simulação e na busca de otimização de problemas. Devido à isto, técnicas ligadas à inteligência artificial tem se apresentado como uma alternativa para simulação e otimização de processos ligados à esta área (DORNELLES et al., 2018; TRAUTMANN et al., 2020). No viés de simulações, as redes neurais artificiais (RNAs) vêm sendo amplamente utilizadas para representar diferentes situações. Elas apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes, capazes de realizar o aprendizado computacional através do reconhecimento de padrões (SOARES et al., 2015; DE MAMANN et al., 2019). Para os problemas de otimização, a aplicação de algoritmos genéticos são uma alternativa para a realização deste processo. Os algoritmos genéticos são técnicas inspiradas em mecanismos de seleção e genética natural, em que o algoritmo procura uma solução muito boa ou a melhor solução através da teoria da criação genética e evolução de populações de indivíduos (DORNELLES et al., 2018; PAL; WANG, 2018).

Desta forma, a utilização da modelagem matemática e computacional pela análise estatística, modelos biométricos, análise multivariada e inteligência artificial pode auxiliar na identificação de cultivares com maior resistência às doenças foliares e que apresentam maior eficiência fisiológica em condições adversas de cultivo a fim de proporcionar a redução de uso do fungicida. Além disto, pode auxiliar na simulação do progresso das doenças foliares e da produtividade na aveia na identificação do manejo do fungicida que permite maior intervalo entre a colheita e a última aplicação, na promoção de maior segurança alimentar do cereal.

O objetivo do estudo é empregar a modelagem matemática e computacional na identificação de cultivares de aveia com maior resistência às doenças foliares para redução de uso de fungicida. Além disto, realizar a simulação do progresso de doenças foliares e produtividade de grãos de aveia e identificar o manejo do fungicida que possibilita maior intervalo entre a colheita e última aplicação, promovendo maior segurança alimentar.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo é empregar a modelagem matemática e computacional na identificação de cultivares de aveia com maior resistência às doenças foliares para redução de uso de fungicida. Além disto, realizar a simulação do progresso de doenças foliares e produtividade de grãos de aveia e identificar o manejo do fungicida que possibilita maior intervalo entre a colheita e última aplicação, promovendo maior segurança alimentar.

2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

2.1.1 Objetivo Específico I

Identificar o melhor momento de avaliação da área foliar necrosada e determinar a taxa de evolução das doenças foliares em cultivares de aveia. Obter parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para reconhecimento de cultivares mais adaptadas e estáveis sobre à área foliar necrosada e à produtividade de grãos na condição de ausência de fungicida.

2.1.2 Objetivo Específico II

Determinar a taxa da produtividade de grãos e da área foliar necrosada em função do número de aplicações de fungicida na identificação de cultivares de aveia com menor dependência ao uso do agroquímico. Obter os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para reconhecimento de cultivares mais adaptadas e estáveis frente às variações do manejo do fungicida e de ano agrícola.

2.1.3 Objetivo Específico III

Estabelecer a taxa de função linear e de contribuição relativa entre indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia pelo número de aplicação de fungicida, na identificação das variáveis mais sensíveis às alterações do manejo do agroquímico. Desenvolver análise de correlação e trilha para diagnóstico da dinâmica e sentido das relações dos indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia nas condições de uso de fungicida.

2.1.4 Objetivo Específico IV

Selecionar variáveis potenciais para inclusão em modelos de simulação da área foliar necrosada e identificar o manejo de fungicida que minimiza a expressão da necrose foliar e promova maior intervalo entre a colheita e a última aplicação do agroquímico. Otimizar o melhor momento de avaliação da necrose foliar para o desenvolvimento de um modelo de simulação da produtividade de grãos de aveia eficiente e que auxilie na previsão de safras.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS GERAIS

Para o trabalho foi desenvolvido um experimento à campo nos anos de 2015 a 2020 na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) pertencente à Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), no município de Augusto Pestana - RS, localizado geograficamente a 28° 26’ 30’’ de latitude S e 54° 00’ 58’’ de longitude W, com altitude próxima a 400 metros. Segundo a Unidade de Mapeamento de Santo Ângelo o solo da unidade experimental se caracteriza por ser do tipo latossolo vermelho distroférrico típico e apresenta um perfil profundo, bem drenado, coloração vermelho escuro e com altos teores de argila. De acordo com a classificação climática de Köeppen, o clima da região se enquadra na descrição de Cfa (subtropical úmido), com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperaturas médias superiores a 22 ºC no mês mais quente. É caracterizado pela ocorrência de verões quentes, porém sem ocorrência de estiagens prolongadas, com inverno frio e úmido, com frequentes geadas. A área onde o experimento foi instalado tem como característica à ocorrência de semeadura direta há mais de vinte anos, em que, no período do verão, a área é utilizada para a semeadura de soja e milho, culturas de verão mais utilizadas na região.

Foi utilizado um delineamento experimental de blocos casualizados, seguindo um esquema fatorial 22 x 5, para as 22 cultivares de aveia branca e 5 condições de aplicação de fungicida, respectivamente, com três repetições. As 22 cultivares de aveia branca utilizadas foram: Barbarasul, Brisasul, FAEM 006, FAEM 007, FAEM 4 Carlasul, FAEM 5 Chiarasul, IPR Afrodite, UPFA Gaudéria, UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, URS 21, URS Altiva, URS Brava, URS Charrua, URS Corona, URS Estampa, URS Fapa Slava, URS Guará, URS Guria, URS Tarimba, URS Taura e URS Torena. Informações complementares sobre as cultivares, como resistência às doenças, duração de ciclo de cultivo, entre outras características importantes são apresentadas no Anexo A deste trabalho. As condições de uso do fungicida foram: sem aplicação de fungicida; uma aplicação aos 60 Dias Após Emergência (DAE); duas aplicações, uma aos 60 DAE e outra aos 75 DAE; três aplicações, uma aos 60 DAE, outra aos 75 DAE e outra aos 90 DAE e; quatro aplicações, uma aos 60 DAE, outra aos 75 DAE, outra aos 90 DAE e por fim, aos 105 DAE. As condições de uso do fungicida foram propostas procurando manter o maior intervalo possível entre a colheita e última aplicação do produto. O croqui parcial do experimento é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Croqui parcial do campo experimental.

SF	CF1	CF2	CF3	CF4
UPFA Gaudéria	URS Corona	URS Guará	IPR Afrodite	Barbarasul
UPFA Ouro	URS Guará	URS Torena	Brisasul	URS Altiva
UPFPS Farroupilha	URS Charrua	FAEM006	URS Tarimba	FAEM007
IPR Afrodite	UPFA Gaudéria	URS Estampa	URS Brava	FAEM5 Chiarasul
URS Fapa Slava	Brisasul	URS Altiva	URS 21	UPFA Ouro
Barbarasul	IPR Afrodite	UPFPS Farroupilha	FAEM006	FAEM4 Carlasul
Brisasul	URS Brava	URS Corona	UPFA Gaudéria	URS Brava
FAEM4 Carlasul	URS Taura	URS Charrua	URS Fapa Slava	URS Taura
FAEM5 Chiarasul	FAEM4 Carlasul	Barbarasul	FAEM4 Carlasul	URS Estampa
FAEM006	FAEM5 Chiarasul	UPFA Gaudéria	URS Guria	URS Corona
FAEM007	FAEM007	Brisasul	URS Altiva	IPR Afrodite
URS21	URS Torena	UPFA Ouro	UPFPS Farroupilha	FAEM006
URS Taura	URS Tarimba	IPR Afrodite	FAEM007	URS Tarimba
URS Tarimba	URS Altiva	URS Fapa Slava	URS Taura	URS 21
URS Guria	URS 21	URS Brava	URS Guará	URS Guria
URS Charrua	UPFPS Farroupilha	FAEM4 Carlasul	URS Torena	URS Charrua
URS Torena	FAEM006	FAEM5 Chiarasul	URS Estampa	URS Fapa Slava
URS Corona	URS Guria	URS Taura	URS Corona	UPFPS Farroupilha
URS Estampa	Barbarasul	URS Tarimba	UPFA Ouro	URS Torena
URS Guará	UPFA Ouro	URS 21	URS Charrua	Brisasul
URS Brava	URS Estampa	URS Guria	Barbarasul	URS Guará
URS Altiva	URS Fapa Slava	FAEM007	FAEM5 Chiarasul	UPFA Gaudéria

SF: sem aplicação de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida, uma aos 60 DAE e outra aos 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida, a primeira aos 60 DAE, a segunda aos 75 DAE e terceira aos 90 DAE; CF_4: quatro aplicações de fungicida, uma aos 60 DAE, outra aos 75 DAE, outra aos 90 DAE e a última aos 105 DAE; Fonte: próprio autor (2022).

Antes da semeadura, foi realizada análise de solo e identificadas as seguintes características químicas, considerando a média dos seis anos de estudo: pH= 6,3; P=34,1 mg dm^{-3}; K= 198 mg dm^{-3}; MO= 3,2%; Al= 0 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca = 6,5 $cmol_c$ dm^{-3} e Mg=2,5 $cmol_c$ dm^{-3}. A semeadura foi realizada preferencialmente na primeira quinzena de junho, podendo ser realizada até a segunda semana do mês com uma semeadora-adubadora. A parcela experimental foi constituída de 5 linhas de 5 metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,2 metros para compor a unidade experimental de 5 m^2. A densidade populacional utilizada foi de 400 sementes viáveis m^{-2}, conforme recomendação técnica. As sementes dos genótipos selecionados foram submetidas ao teste de germinação e vigor em laboratório a fim de corrigir a densidade de plantas desejada. Para atender à expectativa de produtividade de grãos de 3 t ha^{-1}, foi aplicado 10 kg ha^{-1} de nitrogênio na base, e o restante em cobertura no estádio de quarta folha expandida. Além disso, com base nos teores de fósforo (P) e potássio (K) do solo, foram aplicados na semeadura 45 e 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 e K_2O, respectivamente. Alguns dos procedimentos metodológicos realizados no campo experimental são apresentados na Figura 2.

Figura 2: Procedimentos e manejos realizados nos anos de cultivo.

A: demarcação da área experimental; B: semeadura; C: aplicação de nitrogênio; D: capina para controle de plantas invasoras; E: parcelas do experimento; Fonte: próprio autor (2022).

No controle das doenças foliares, foram efetuadas aplicações de fungicida de princípio ativo tebuconazol, fungicida sistêmico do grupo químico Triazol, conforme orientações da bula. Para o controle de plantas daninhas foi realizado a aplicação do herbicida metsulfuron-metil conforme orientações da bula e capinas sempre que necessário.

A avaliação da área foliar foi realizada aos 60, 75, 90, 105 e 120 DAE, verificando assim os efeitos de cada condição de uso do fungicida em todas as cultivares em estudo. Aos 60 DAE é avaliada a área foliar da condição sem fungicida; aos 75 DAE é avaliada a área foliar da condição sem fungicida e da condição com uma aplicação; aos 90 DAE é avaliada a área foliar da condição sem fungicida e das condições com uma e duas aplicações; aos 105 DAE, é avaliada a área foliar das condições sem fungicida e das condições de uma, duas e três aplicações; aos 120 DAE é avaliada a área foliar necrosada de todas as condições de uso do fungicida. Para cada avaliação de área foliar são coletadas três plantas de cada parcela, totalizando sempre três plantas por condição de fungicida e cultivar. A identificação da área foliar total e necrosada foi realizada a partir do escaneamento das três folhas superiores das plantas coletadas, e posteriormente, a medição (em cm^2) com auxílio do

software WinDias (Copyright 2012, Delta-T Devices Limited). Na Figura 3 é apresentado o procedimento de coleta de plantas e a imagem analisada pelo software WinDias, em que a área foliar necrosada é destacada em vermelho.

Figura 3: Coleta de plantas e identificação da área foliar necrosada.

Fonte: próprio autor (2022)

A colheita do experimento, para a estimativa da produtividade de grãos, ocorreu de forma manual pelo corte das três linhas centrais de cada parcela, que após trilhadas com colheitadeira estacionária foram direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e posterior pesagem para estimativa da produtividade, convertida para a unidade de um hectare. Estes procedimentos são apresentados na Figura 4.

Figura 4: Manejo do fungicida, colheita e estimação da produtividade de grãos de aveia.

Fonte: próprio autor (2022)

Para este estudo, foram analisados tanto à campo como em laboratório as seguintes variáveis:

a) Produtividade de grãos - PG (kg ha^{-1}): Para a estimativa da produtividade de grãos foi utilizada a massa de grãos proveniente da colheita das 3 linhas centrais de cada parcela.
b) Área foliar sadia - AFS (cm^2): Mensuração da área foliar sadia de três folhas superiores de três plantas coletadas aleatoriamente de cada parcela.
c) Área foliar necrosada - AFN (cm^2): Mensuração da área foliar comprometida pelo ataque das doenças foliares de três folhas superiores de três plantas coletadas aleatoriamente de cada parcela.
d) Área foliar total - AFT (cm^2): Área que totaliza a área foliar sadia e necrosada de três folhas superiores de três plantas coletadas aleatoriamente de cada parcela.
e) Área foliar necrosada (percentual) - AFN (%): Determinada pela divisão da área foliar necrosada (cm^2) em relação à área foliar total (cm^2) e multiplicado por cem.
f) Massa de mil grãos - MMG (g): Determinada pela contagem de 250 grãos que são pesados e convertidos para 1000 grãos.
g) Massa do hectolitro - MH (hl^{-1}): Determinada pela massa de grãos de volume conhecido da amostra da colheita da parcela.
h) Número de grãos maiores que 2 mm em 100 grãos - NG>2mm (n): Obtido através da contagem de 100 grãos que são pesados e após colocados em uma peneira de malha de 2 mm, sendo contados os grãos que ficam acima desta dimensão.
i) Índice de descasque - ID (g g^{-1}): Determinado pela razão da massa de 50 grãos sem casca pela massa dos mesmos 50 grãos com casca, dentre os grãos com espessura maior que 2 mm.
j) Produtividade industrial - PI (kg ha^{-1}): Determinada pelo produto da produtividade de grãos com o índice de descasque e o número de grãos maiores que 2 mm em percentual na forma fracionária (PI= PG * ID * (NG>2mm/100)).

Foram também avaliadas variáveis ligadas à qualidade química de grãos de aveia. Para estas avaliações foram utilizadas amostras de 300 grãos não descascados, provenientes de cada parcela útil. O material colhido foi analisado em espectrômetro de reflectância no infravermelho proximal (NIRS), marca Perten, modelo Diode Array DA7200, no laboratório de bromatologia da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, sendo analisado:

a) Proteína total - PT (g kg^{-1}).
b) Fibra total - FT (g kg^{-1}).
c) Amido - AM (g kg^{-1}).

Além disto, foram consideradas variáveis meteorológicas obtidas a partir da estação meteorológica automática instalada à 200 metros da implantação do experimento. Foram consideradas as seguintes variáveis:

a) Temperatura mínima do ar - T_{min} (°C).
b) Temperatura máxima do ar - T_{max} (°C).
c) Média da temperatura mínima do ar - $\overline{T}_{min}$ (°C).
d) Média da temperatura máxima do ar - $\overline{T}_{max}$ (°C).
e) Temperatura média do ar - $\overline{T}_{med}$ (°C).
f) Precipitação pluviométrica - PP (mm).
g) Soma térmica - ST (graus dia^{-1}).
h) Umidade mínima do ar - U_{min} (%).
i) Umidade máxima do ar - U_{max} (%).
j) Média da umidade mínima do ar - $\overline{U}_{min}$ (%).
k) Média da umidade máxima do ar - $\overline{U}_{max}$ (%).
l) Umidade média do ar - $\overline{U}_{med}$ (%).

A soma térmica (graus dia^{-1}) é obtida a partir das temperaturas do ar de todos os dias do ciclo, pelo seguinte modelo:

$$ST = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{T_{max_i} + T_{min_i}}{2} - TB \right) \quad (1)$$

em que n é o número de dias do período de emergência à colheita e TB é a temperatura base. A temperatura base utilizada no estudo foi de 4 ºC, conforme sugerido por Pedro Júnior et al., 2004.

4 MODELOS MATEMÁTICOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os modelos matemáticos utilizados na análise de dados desta pesquisa.

4.1 Análise de variância

A análise de variância ou ANOVA é um dos métodos estatísticos mais utilizados quando há a necessidade de comparar médias de mais de duas populações. Está técnica consiste na decomposição do número de graus de liberdade e da variância total de um material heterogêneo em partes atribuídas à causas conhecidas e independentes e a uma porção residual de origem desconhecida e de natureza aleatória (BANZATTO; KRONKA, 2006). Além disto, a ANOVA pode testar as possíveis interações entre os fatores considerados no estudo, ou seja, verifica se o efeito resultante da combinação do nível *í* do fator A com o nível *j* do fator D é significativo. Para a aplicação da ANOVA é necessário a verificação de alguns pressupostos em relação aos dados que serão analisados, afim de garantir que os resultados sejam confiáveis. Dentre eles, destacam-se os requisitos de os dados possuírem distribuição normal e da homogeneidade das variâncias amostrais. Neste trabalho, estes pressupostos foram verificados pela aplicação dos testes de Shapiro Wilk e de Bartlett, respectivamente (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A ANOVA é ajustável ao delineamento experimental utilizado na execução do experimento, possibilitando sua utilização nos mais diferentes esquemas experimentais. Desta forma, considerando que neste estudo foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados com dois fatores, foi utilizada a ANOVA de dois fatores.

Inicialmente são estabelecidas as hipóteses testadas pela técnica, em que, primeiramente são verificados os efeitos isolados (principais) dos fatores A e D com

$$H_0^A: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_a$$
$$H_1^A: \exists_{(i,i')}\mu_i \neq \mu_{i'}, i \neq i'(i, i' = 1,2, \dots, a) \quad (2)$$

e

$$H_0^D: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_d$$
$$H_1^D: \exists_{(j,j')}\mu_j \neq \mu_{j'}, j \neq j'(j, j' = 1,2, \dots, d) \quad (3)$$

em que i e j são os níveis dos fatores A e D, respectivamente e μ_a e μ_d são as médias das populações para cada nível dos fatores A e D, respectivamente. Em seguida é verificado o efeito conjunto dos fatores na variável dependente, testando as seguintes hipóteses

$$H_0: \gamma_{ij} = 0, \text{ para } i \neq j$$
$$H_1: \gamma_{ij} \neq 0, \text{ para } i \neq j \quad (4)$$

em que γ_{ij} é a interação do nível i do fator A com o nível j do fator D.

Estabelecidas as hipóteses, o modelo matemático representativo da ANOVA que representa cada observação do experimento para dois fatores é:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + D_j + A_i \times D_j + B_k + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

em que: Y_{ijk} é a variável dependente a ser estimada, μ é a média geral, A_i é o efeito do nível i do fator A, D_j é o efeito do nível j do fator D, $A_i \times D_j$ é o efeito da interação entre os fatores A e D, B_k é o efeito do bloco e ε_{ijk} é o erro experimental.

Na Tabela 1, é apresentado o resumo da análise de variância para um experimento fatorial de dois fatores com delineamento de blocos casualizados.

Tabela 1: Análise de variância para experimento bifatorial no delineamento em blocos ao acaso

FV	GL	SQ	QM	F (sob H_0)
Blocos (Bl)	K-1	SQ_{Bl}	QM_{Bl}	QM_{Bl}/QM_E
Fator A	I-1	SQ_A	QM_A	QM_A/QM_E
Fator D	J-1	SQ_D	QM_D	QM_D/QM_E
A x D	(I-1)(J-1)	SQ_{AD}	QM_{AD}	QM_{AD}/QM_E
Erro	(IJ-1)(K-1)	SQ_E	QM_E	-
Total	IJK-1	SQ_{total}	-	-

FV: Fator de variação; GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: teste de probabilidade de Fisher; Bl: bloco; I, J, K:são os níveis dos fatores A e D e o número de repetições em cada bloco, respectivamente.

A soma de quadrados (SQ) é obtida elevando ao quadrado as estimativas dos parâmetros de cada parcela, ou pelas seguintes fórmulas (FILHO; LÚCIO; LOPES, 2009):

$$SQ_{total} = \sum_{ijk} Y_{ijk}^2 - C \quad (6)$$

$$SQ_A = (1/JK) \sum_{i=1}^{I} Y_i^2.. - C \quad (7)$$

$$SQ_D = (1/IK) \sum_{j=1}^{J} Y_j^2.. - C \quad (8)$$

$$SQ_{AD} = (1/K)\sum_{ij} Y_{ij}^2. - C - SQ_A - SQ_D \quad (9)$$

$$SQ_{Bl} = (1/IJ)\sum_{k=1}^{K} Y_k^2 - C \quad (10)$$

$$SQ_E = SQ_{total} - SQ_{Bl} - SQ_A - SQ_D - SQ_{AD} \quad (11)$$

$$C = Y_{..}^2/IJK \quad (12)$$

em que C é um fator de correção. Os quadrados médios (QM) são dados por:

$$QM_{Bl} = SQ_{Bl}/GL_{Bl} \quad (13)$$

$$QM_A = SQ_A/GL_A \quad (14)$$

$$QM_D = SQ_D/GL_D \quad (15)$$

$$QM_{AD} = SQ_{AD}/GL_{AD} \quad (16)$$

$$QM_E = SQ_E/GL_E \quad (17)$$

O coeficiente de variação é dado por:

$$CV\% = \frac{(100\sqrt{QMR})}{m} \quad (18)$$

em que m é a média e QMR é o quadrado médio do erro.

Feitos os cálculos e considerando as hipóteses $H_0: \gamma_{ij} = 0$, que estabelece que as interações entre os fatores A e D não são significativas e $H_1: \gamma_{ij} \neq 0$, representando que a interações entre os fatores é significativa, calcula-se a estatística $F_c = QM_{AD}/QM_E$ sob H_0, que possui distribuição de F (GL_{AD}; GL_E). Assim, se $F_c > F_\alpha(GL_{AD}; GL_E)$, sendo F_α um valor teórico definido por n graus de liberdade das interações entre os fatores, m graus de liberdade do resíduo e o nível de significância determinado, rejeita-se H_0 e se conclui que existe interação em nível α de erro de conclusão entre os fatores A e D e a interação estimada não pode ser atribuída ao acaso. A partir disto, estuda-se o comportamento dos níveis de um fator dentro de cada nível do outro fator, por meio de métodos de comparação de médias ou através de análises de regressão. Se $F_c \leq F_\alpha(GL_{AD}; GL_E)$ é aceita a hipótese H_0 e se conclui que a interação observada não é significativa e pode ser atribuída ao acaso. Neste caso, testam-se as hipóteses sobre os efeitos principais dos fatores A e D. Sendo o fator A e/ou D quantitativo com mais de dois níveis, é realizada a análise de regressão e a conclusão é obtida pela equação estimada, indicando, se possível, os pontos de máxima eficiência.

4.2 Teste de médias de Scott e Knott

O teste de médias Scott e Knott (1974) é um método de comparação múltipla, onde são separadas as médias de tratamentos em grupos homogêneos, pela minimização da variação da soma de quadrados dentro do grupo e da maximização entre os grupos. Sua principal vantagem em comparação aos demais testes de comparação de médias é estabelecer que nenhuma média pode pertencer a mais de um agrupamento. Para realizar o teste de grupamento de Scott e Knott deve-se obter um valor λ dado pela seguinte equação:

$$\lambda = \frac{\pi}{2(\pi - 2)} * \frac{\beta_0^2}{\sigma_0^2} \tag{19}$$

sendo: β_0 o valor máximo da soma de quadrados entre grupos, considerando todas as partições possíveis dos g tratamentos em dois grupos e σ_0^2 a variância. O valor de β_0 pode ser estimado pela análise de $g - 1$ partições formadas pela ordenação das g médias, das quais se estabelecem os grupos. Dessa forma, β_0 pode ser estimado por meio da seguinte equação:

$$\beta_0 = \frac{T_1^2}{k_1} + \frac{T_2^2}{k_2} - \frac{(T_1 + T_2)^2}{k_1 + k_2} \tag{20}$$

sendo: T_1e T_2 os totais dos dois grupos com k_1 e k_2 tratamentos cada um, representado pelas equações:

$$T_1 = \sum_{i=1}^{k_1} \bar{Y}_{(i)} \tag{21}$$

$$T_2 = \sum_{i=k_1+1}^{g} \bar{Y}_{(i)} \tag{22}$$

sendo: $\overline{Y}_{(i)}$ a média do tratamento da posição ordenada i. A variância σ_0^2 é obtida por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{g + v}\left[\sum_{i=1}^{g}\left(\bar{Y}_{(i)} - \bar{Y}\right)^2 + v s_{\bar{Y}}^2\right] \tag{23}$$

sendo: $\bar{Y}_{(i)}$ a média do tratamento i $(i = 1,2, \ldots, g)$, $\bar{Y}$ a média geral dos tratamentos a serem separados, g o número de médias a serem separadas, v o número de graus de liberdade do resíduo e $s_{\bar{Y}}^2 = \frac{QMR}{r}$ sendo QMR o quadrado médio do resíduo e r o número de observações que deram origem as médias a serem agrupadas.

A partir da Equação (15) é definido que: se $\lambda < \chi^2_{(\alpha,vo)}$, todas as médias serão consideradas homogêneas, não havendo mais partições dentro do grupo considerado. Se $\lambda \geq \chi^2_{(\alpha,vo)}$, os dois grupos

diferem significativamente. Estes dois grupos devem ser testados, separadamente, para novas possíveis divisões. O teste prossegue até que sejam encontrados grupos com apenas uma média e, ou, grupos de médias homogêneas. O valor de qui-quadrado é estabelecido em função do nível de significância α e do número de graus de liberdade, dado por:

$$vo = \frac{g}{\pi - 2} \tag{24}$$

sendo: g o número de médias a serem separadas.

4.3 Modelos de Regressão

O objetivo da utilização da análise de regressão é verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou várias variáveis independentes. Está relação, representada por uma equação matemática, permite descrever o comportamento e variação da variável dependente em função dos níveis da variável ou variáveis independentes. Está relação pode apresentar diferentes comportamentos: linear, quadrático, cúbico, logarítmico, exponencial, etc. Este comportamento é representado através da construção de um gráfico, chamado de diagrama de dispersão. Para determinação da curva que melhor representa o comportamento dos dados, deve-se verificar qual melhor se ajusta a dispersão dos dados. Além disto, há também um indicador chamado de coeficiente de determinação (R^2). Este indicador é uma medida da proporção da variância da variável dependente em torno de sua média que é explicada pelas variáveis independentes ou preditoras. O coeficiente pode variar entre 0 e 1, sendo assim, quando maior o valor de R^2, maior o poder de explicação da equação de regressão e, portanto, melhor a previsão da variável dependente (HAIR; BLACK; SANT'ANNA, 2009).

4.3.1 Regressão Linear Simples

Quando a relação entre uma variável independente (x) e a variável dependente (y) puder ser expressa através de uma equação do primeiro grau, está equação é chamada de regressão linear simples, e o modelo é dado por:

$$y = b_0 + b_1 x + \varepsilon \tag{25}$$

sendo: y a variável dependente, x a variável independente, ε é o erro aleatório e b_0 e b_1 são os parâmetros a serem estimados. O parâmetro b_0 é denominado coeficiente linear e b_1 é denominado coeficiente angular ou coeficiente de regressão. Dispondo de n pares de x e y, os parâmetros podem ser estimados através do método dos mínimos quadrados ordinários, que visa estimar b_0 e b_1 de modo que o somatório do quadrado dos resíduos seja o menor possível (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Desta forma temos que:

$$\sum_{i=1}^{n}(y_i - b_1 x_i - b_0)^2 = min \tag{26}$$

Para realizar a minimização, basta derivar a equação anterior em relação a b_0 e b_1e igualar a zero as equações resultantes, obtendo

$$\frac{\partial[\sum_{i=1}^{n}(y_i - b_1 x_i - b_0)^2]}{\partial b_0} = -2\sum_{i=1}^{n}(y_i - b_1 x_i - b_0) = 0 \tag{27}$$

$$\frac{\partial[\sum_{i=1}^{n}(y_i - b_1 x_i - b_0)^2]}{\partial b_1} = -2\sum_{i=1}^{n} x_i(y_i - b_1 x_i - b_0) = 0 \tag{28}$$

Distribuindo e dividindo a Equação (26) por $2n$, em que n é o tamanho da amostra, temos

$$\frac{-2\sum_{i=1}^{n} y_i}{2n} + \frac{2\sum_{i=1}^{n} b_1 x_i}{2n} + \frac{2\sum_{i=1}^{n} b_0}{2n} = \frac{0}{2n} \tag{29}$$

que ao fazer as operações possíveis é obtido

$$-\bar{y} + b_1\bar{x} + b_0 = 0 \tag{30}$$

que, portanto, fica

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x} \tag{31}$$

que é a equação que possibilita a estimação de b_0, sendo $\bar{y}$ e $\bar{x}$ a média amostral de y e x, respectivamente. Substituindo o resultado a cima na Equação (27), temos

$$-2\sum_{i=1}^{n} x_i(y_i - b_1 x_i - \bar{y} + b_1\bar{x}) = 0 \tag{32}$$

que ao aplicarmos algumas operações matemáticas torna-se

$$\sum_{i=1}^{n} x_i(y_i - \bar{y}) = b_1\sum_{i=1}^{n} x_i(x_i - \bar{x}) \tag{33}$$

que gera, portanto

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{34}$$

que possibilita a estimação do parâmetro b_1.

O coeficiente de determinação (R^2) é dado por:

$$R^2 = \frac{100.SQRe}{SQT} \tag{35}$$

sendo: $SQRe$ a soma de quadrados da regressão e SQT a soma de quadrados total.

Após a obtenção dos parâmetros é fundamental a aplicação de um teste de significância sobre os mesmos, principalmente para o coeficiente de regressão. A aplicação do teste de significância visa verificar se o comportamento da variável independente está influenciando de forma significativa o comportamento da variável dependente. Para esta finalidade é usado a estatística de t ou o teste t, que testa a significância de cada parâmetro do modelo. Considerando o modelo de regressão linear o teste t possui as seguintes hipóteses:

$$H_0: b_0 = 0 \text{ e } H_1 = b_0 \neq 0 \tag{36}$$

$$H_0: b_1 = 0 \text{ e } H_1 = b_1 \neq 0 \tag{37}$$

que são testadas pela seguinte expressão:

$$t_{b_i} = \frac{b_i}{s.e(b_i)} \tag{38}$$

sendo t_{b_i} o valor de t calculado para cada parâmetro com $i \in \mathbb{N}$, b_i o valor do parâmetro que está sendo testado e $s.e(b_i)$ é o valor do erro padrão de cada parâmetro em análise.

Calculados os valores de t_{b_i} estes são comparados com valores de t tabelados (t_{tab}) que são dependentes do nível de significância considerado e dos graus de liberdade, dado por $n - 2$, em que n é o nível de observações do estudo. Ao realizar as comparações entre os valores de t, observamos que, se $t_{b_i} < t_{tab}$ então a hipótese nula é aceita e concluímos que os parâmetros são estatisticamente iguais a zero, ou seja, o comportamento dos dados não é dado pela variação da variável independente. Em contrapartida, se $t_{b_i} > t_{tab}$, a hipótese nula é rejeitada e concluímos que os parâmetros são estatisticamente diferentes de zero e que seu comportamento é influenciado de forma significativa pela variação da variável independente (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

4.4 Modelo de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell

O modelo proposto por Eberhart e Russell para verificação das características de adaptabilidade e estabilidade de diferentes cultivares baseia-se na análise de regressão linear simples, medindo a resposta de cada genótipo frente às variações ambientais. Foi estabelecido um parâmetro para cálculo da adaptabilidade de um genótipo (coeficiente de regressão e produtividade) e outro para estimar a estabilidade (variância dos desvios de regressão). Para um experimento com g genótipos, a ambientes e r repetições, define-se o seguinte modelo estatístico (CRUZ; REGAZZI, 2001):

$$Y_{ij} = b_{0i} + b_{1i} I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \tag{39}$$

sendo: Y_{ij} a média de genótipo *i* no ambiente *j*, b_{0i} a média geral do genótipo *i*, b_{1i} o coeficiente de regressão linear que mede a resposta do *i*-ésimo genótipo à variação do ambiente; I_j o índice ambiental padronizado, definido por:

$$I_j = \frac{1}{g}\sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..} \quad (40)$$

sendo $j = 1, \ldots, a$ e $i = 1, \ldots, g$, sendo a o número de ambientes, g o número de genótipos, $Y_{..}$ o somatório de todas as observações, δ_{ij} são os desvios da regressão linear e $\bar{\varepsilon}_{ij}$ o erro experimental médio.

O estimador do parâmetro de adaptabilidade é dado por:

$$b_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2} \quad (41)$$

em que a significância do parâmetro é avaliada pelo teste t, considerando as seguintes hipóteses: H_0: b_{1i}= 1 e H_1: $b_{1i} \neq 1$, cuja estatística é dada por:

$$t = \frac{b_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(b_{1i})}} \quad (42)$$

em que $\hat{V}(b_{1i})$ é a variância associada, dado por

$$\hat{V}(b_{1i}) = \frac{\hat{\sigma}_\varepsilon^2}{\sum_j I_j^2} \quad (43)$$

em que $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{QMR}{r}$, sendo QMR o quadrado médio do resíduo da análise de variância conjunta e r o número de repetições que deram origem às médias submetidas à análise.

De acordo com essa metodologia, a adaptabilidade é a capacidade dos genótipos, em determinada condição, aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente. Desta forma, os genótipos podem ser classificados como: genótipos com adaptabilidade geral quando apresentam equações de regressão com $b_{1i} = 1$; genótipos com adaptabilidade especifica para ambientes desfavoráveis quando apresentam equações de regressão com $b_{1i} < 1$; genótipos com adaptabilidade especifica para ambientes favoráveis quando apresentam equações de regressão com $b_{1i} > 1$.

O parâmetro de estabilidade é estimado pelo método da análise de variância, a partir do quadrado médio do desvio da regressão de cada genótipo (QMD_i) e do quadrado médio do resíduo (QMR), dado pela equação:

$$\sigma_{di}^2 = \frac{QMD_i - \mathrm{QMR}}{r} \quad (44)$$

em que o QMD_i é obtido pela equação:

$$QMD_i = \frac{r}{a-2}\left[\sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{a} - \frac{(\sum_j Y_{ij} I_j)^2}{\sum_j Y_j^2}\right]. \quad (45)$$

A característica de estabilidade refere-se à capacidade de um genótipo de mostrar um comportamento altamente previsível em função do estimulo do ambiente. Desta forma, um genótipo é dito estável ou que possui previsibilidade quando σ_{di}^2 = 0 e é dito instável ou com previsibilidade baixa quando $\sigma_{di}^2 \neq 0$. A hipótese H_0: $\sigma_{di}^2 = 0$ é avaliada pela estatística F, dada por

$$F = \frac{QMD_i}{QMR} \tag{46}$$

que está associada a um nível de significância α e a $a - 2$ e m graus de liberdade, sendo m o número de graus de liberdade do resíduo obtido na análise conjunta.

O coeficiente de determinação associado à cada equação de regressão é determinado por

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQ(A/G_i)}.100 \tag{47}$$

em que $SQReg$ é a soma de quadrados da regressão e $SQ(A/G_i)$ é a soma de quadrados de ambiente dentro de genótipo associada à $(a-1)g$ graus de liberdade.

4.5 Modelo de Adaptabilidade e Estabilidade de Cruz, Torres e Vencovsky

O método de análise de características de adaptabilidade e estabilidade proposto por Cruz, Torres e Vencovsky baseia-se em equações de regressão bissegmentada, expressa em função de um índice ambiental que mede a qualidade dos ambientes avaliados. O método tem como parâmetros de adaptabilidade a média ($\hat{\beta}_{0i}$) e a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i}$) e aos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio da regressão $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$ de cada genótipo em função das variações ambientais (CRUZ; REGAZZI, 2001). Para tal análise, é utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$\mathrm{Y}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \beta_{2i} T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \tag{48}$$

sendo: I_j o índice de ambiente codificado, $T(I_j) = 0$ se $I_j < 0$ e $T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$ se $I_j > 0$, em que $\bar{I}_+$ é a média dos índices I_j positivos. Os parâmetros β_{0i}, β_{1i}, β_{2i} e $\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$ são estimados utilizando os seguintes estimadores:

$$\hat{\beta}_{0i} = \bar{Y}_{i.} \tag{49}$$

em que: $\bar{Y}_{i.}$ é a média geral do i-ésimo genótipo,

$$\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j - \sum_j Y_{ij} T(I_j)}{\sum_j I_j^2 - \sum_j T^2(I_j)} \tag{50}$$

$$\hat{\beta}_{2i} = j\frac{\sum_j I_j^2 \sum_j Y_{ij} T(I_j) - \sum_j r^2(I_j) \sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j T^2(I_j)\left[\sum_j I_j^2 - \sum_j T^2(I_j)\right]} \quad (51)$$

$$\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i} = \frac{\sum_j Y_{ij} T(I_j)}{\sum_j r^2(I_j)} \quad (52)$$

em que r é o número de repetições.

O índice ambiental, o parâmetro de estabilidade e o coeficiente de determinação são calculados pelos mesmos estimadores descritos para a metodologia de Eberhart e Russel, dados pelas Equações (40), (44) e (47). Para esta metodologia é ajustada uma equação de regressão constituída por dois segmentos de reta para cada cultivar, em que o comportamento de cada genótipo é analisado separadamente para ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis. É considerada uma cultivar ideal aquela que apresentar uma média de produtividade alta (β_0 elevado), adaptabilidade à ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1$), responsividade à melhoria de ambiente ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) e desvio de regressão igual a 0. Os testes de significância sobre os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são os mesmos utilizados para os parâmetros da metodologia de Eberhart e Russel. Entretanto, para os parâmetros de adaptabilidade são consideradas as seguintes hipóteses: Para o parâmetro β_{1i}: $H_0: \beta_{1i} = 0$ e $H_1: \beta_{1i} \neq 0$; $H_0: \beta_{1i} = 1$ e $H_1: \beta_{1i} \neq 1$; para o parâmetro $\beta_{1i} + \beta_{2i}$: $H_0: \beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$ e $H_1: \beta_{1i} + \beta_{2i} \neq 1$.

4.6 Análise de Contribuição Relativa pelo método de Singh

Criado inicialmente para a determinação da influência de caracteres morfológicos na divergência genética de plantas, o modelo de magnitude e pesos de Singh (1981) pode ser uma importante ferramenta na determinação quantitativa e percentual da influência manejos sobre os caracteres das plantas.

O método de Singh tem como base a estatística $\boldsymbol{S_{.j}}$, que parte da estatística de Mahalanobis, dada por:

$$D^2_{ii'} = \delta' \psi^{-1} \delta \quad (53)$$

que pode ser escrita como

$$D^2_{ii'} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{j'=1}^{n} \omega_{jj'} d_j d_{j'} \quad (54)$$

sendo: $D^2_{ii'}$ a distância de Mahalanobis entre os tratamentos i e i', ψ é a matriz de variâncias e covariâncias residuais, $\delta' = \left[\, d_1 \;\; d_2 \;\; \ldots \;\; d_j \right]$, sendo d_j a diferença entre médias de dois progenitores i e i' para uma dada característica j e $\omega_{jj'}$ é o elemento da j-ésima linha e j'-ésima coluna da inversa

da matriz de variâncias e covariâncias residuais. A metodologia de Singh visa decompor a distância de Mahalanobis a fim de verificar a contribuição de cada caractere considerado no estudo para a geração da divergência total. Desta forma, conforme Singh (1981), no cálculo de D^2 a partir da equação (54), os valores de cada somatório podem ser dispostos em uma tabela $p \times p$ de duas vias. Por exemplo, considerando um estudo com 3 caracteres, os componentes de D^2 podem ser organizados como na Tabela 2.

Tabela 2: Componentes de D^2.

	$\omega_{11}d_1d_1$	$\omega_{12}d_1d_2$	$\omega_{13}d_1d_3$
	$\omega_{21}d_2d_1$	$\omega_{22}d_2d_2$	$\omega_{23}d_2d_3$
	$\omega_{31}d_3d_1$	$\omega_{32}d_3d_2$	$\omega_{33}d_3d_3$
Total	S_{i1}	S_{i2}	S_{i3}

Sejam os totais das linhas (ou colunas) dados por $S_{i1}, S_{i2}, \ldots, S_{ip}$ em que i é o número de pares das duas populações, a equação (54) pode ser expressa como:

$$D^2_{ii'} = \sum_{j=1}^{p} S_{ij} \tag{55}$$

para os i pares de população.

Uma comparação dos diferentes valores de S_{ij} para um dado i indicará a quantidade de contribuição feita pelos diferentes caracteres X_j para a determinação de D^2. Os valores de D^2 podem ser somados sobre todos os n pares possíveis para obter o valor global de divergência. Obtemos assim

$$\sum_{i=1}^{n} D_i^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p} S_{ij} \tag{56}$$

que pode ser escrita como

$$\sum_{i=1}^{n} D_i^2 = \sum_{j=1}^{n} S_{\cdot j} \tag{57}$$

em que $S_{\cdot j}$ é o total sobre todos os n valores para o caractere X_j e seu valor percentual indica a medida da importância relativa da variável j.

4.7 Modelo de Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1 e por meio do sinal é possível verificar o tipo de relação linear entre as duas variáveis analisadas. Quanto mais próximo dos valores extremos, mais forte é a correlação entre elas. O valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Em contrapartida, quanto mais próximo o valor de correlação estiver de zero, maior o indicativo que não há relação linear entre as variáveis consideradas (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

O coeficiente de correlação de Pearson é normalmente representado pela letra r e a sua fórmula de cálculo é:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}\sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \tag{58}$$

sendo: n o número de observações avaliadas, $\sum x$ é a soma de todos os valores da variável x, $\sum x^2$ indica que cada valor de x deve ser elevado ao quadrado e, então, somado, $\sum(x)^2$ indica que os valores de x devem ser somados e o total, então, elevado ao quadrado,$\sum xy$ indica que cada valor de x deve ser multiplicado por seu valor correspondente de y e, então, somados e r representa o coeficiente de correlação linear para uma amostra.

4.8 Análise de trilha

A análise de trilha é um procedimento estatístico que permite a decomposição da correlação em efeitos diretos e indiretos, ou seja, avalia se a relação entre duas variáveis é de causa e efeito ou é determinada pela influência de outra ou outras variáveis. As estimativas são obtidas a partir de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas. Sendo Y uma variável dependente e um caráter complexo, resultante da ação conjunta de outros caracteres estudados, é possível obter o seguinte modelo (CRUZ, 2006):

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \tag{59}$$

Em que $X_1, X_2, \ldots, X_n$ são as variáveis explicativas. Subtraindo as médias de cada variável obtém-se:

$$Y - \bar{Y} = \beta_1(X_1 - \bar{X}_1) + \beta_2(X_2 - \bar{X}_1) + \cdots + \beta_n(X_n - \bar{X}_n) + \varepsilon \tag{60}$$

Dividindo ambos os membros da igualdade pelo desvio padrão da variável dependente e multiplicando e dividindo cada termo do segundo membro da Equação (60) pelo desvio padrão de cada variável, tem-se:

$$\frac{Y-\bar{Y}}{\sigma_Y}=\frac{\beta_1(X_1-\bar{X}_1)}{\sigma_Y}\frac{\sigma_{X_1}}{\sigma_{X_1}}+\frac{\beta_2(X_2-\bar{X}_2)}{\sigma_Y}\frac{\sigma_{X_2}}{\sigma_{X_2}}+\cdots+\frac{\beta_n(X_n-\bar{X}_n)}{\sigma_Y}\frac{\sigma_{X_n}}{\sigma_{X_n}}+\frac{(\varepsilon-\bar{\varepsilon})}{\sigma_Y}\frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon} \quad (61)$$

Dessa forma, tem-se:

$$y=p_1x_1+p_2x_2+\cdots+p_nx_n+p_\varepsilon u \quad (62)$$

Considerando:

$$y=\frac{Y-\bar{Y}}{\sigma_Y} \quad (63)$$

$$x_i=\frac{(X_i-\bar{X}_i)}{\sigma_{xi}} \quad (64)$$

$$u=\frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \quad (65)$$

$$p_{oi}=\frac{b_{oi}\sigma_{xi}}{\sigma_y} \quad (66)$$

Generalizando, os coeficientes de trilha são estimados a partir do sistema de equações $X'X\beta = X'Y$, sendo:

$$X'Y=\begin{bmatrix}r_{1y}\\r_{2y}\\...\\r_{ny}\end{bmatrix}\ X'X=\begin{bmatrix}1 & r_{12} & ... & r_{1n}\\r_{12} & 1 & ... & r_{2n}\\... & ... & ... & ...\\r_{1n} & r_{2n} & ... & 1\end{bmatrix}\ e\ \beta=\begin{bmatrix}p_1\\p_2\\...\\p_3\end{bmatrix} \quad (67)$$

De modo que se tenha:

$$r_{iy}=p_i+\sum_{j\neq i}^{n}p_jr_{ij} \quad (68)$$

sendo: r_{ij} a correlação entre a variável principal y e a i-ésima variável explicativa, p_j a medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal e p_jr_{ij} a medida do efeito indireto da variável i, via variável j, sobre a variável principal.

O coeficiente de determinação do diagrama de trilha é dado por:

$$R^2=p_1r_{1y}+p_2r_{2y}+\cdots+p_nr_{ny} \quad (69)$$

Quando as variáveis utilizadas para análise estão altamente correlacionadas surge o problema da multicolinearidade. A multicolinearidade torna difícil a avaliação da influência das variáveis explicativas sobre a variável resposta, além de tornar a estimativa dos parâmetros do modelo pelo método dos mínimos quadrado pouco confiável. Na presença de multicolinearidade, o estimador de mínimos quadrado dado pela expressão $X'X\beta = X'Y$, pode estar associado a uma variância muito

alta. Tentando atenuar esse efeito adverso, é adotado um procedimento desenvolvido por Carvalho (1995), baseado na análise de regressão em crista. Neste método, é realizada uma pequena modificação no sistema de equações normais, pela introdução de uma constante k na diagonal da matriz $X'X$, em que os coeficientes de trilha são obtidos pela expressão $(X'X + kI)\theta = X'Y$.

4.9 Regressão Linear Múltipla

A análise de regressão linear múltipla tem por finalidade estabelecer a relação linear entre um conjunto de variáveis independentes e uma variável dependente. Para o processamento dos dados é considerada a seguinte equação (CRUZ, 2006)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \tag{70}$$

em que: X_n é a p-ésima variável observada, β_n é o coeficiente associado a p-ésima variável e ε é o erro. A equação anterior pode ser descrita na forma matricial

$$y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ M \\ Y_n \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \ldots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \ldots & X_{2p} \\ M & M & M & \ldots & M \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \ldots & X_{np} \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ M \\ b_3 \end{bmatrix}; \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ M \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix} \tag{71}$$

que permitem obter os valores dos coeficientes de regressão a partir da expressão

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y. \tag{72}$$

A significância de cada coeficiente de regressão é dada pela aplicação do teste *t*, como mostrado na análise de regressão simples. O coeficiente de determinação para o modelo obtido será dado por

$$R^2 = \frac{100\ SQReg}{SQTotal} \tag{73}$$

em que: $SQReg$ é a soma de quadrados da regressão e $SQTotal$ é a soma de quadrados total.

4.10 Método de Seleção de Variáveis *Stepwise*

O método *Stepwise* é utilizado para selecionar variáveis independentes que se correlacionam com a variável dependente, visando compor um modelo de regressão linear múltiplo. O método seleciona as variáveis que mais influenciam o conjunto de saída, podendo diminuir o número de variáveis a compor a equação de regressão. O método é feito de forma iterativa, adicionando (passo *forward*) e removendo variáveis (passo *backward*), a partir de um critério de seleção. Entre os critérios de seleção mais usados está o teste F, mas também pode ser feito com o coeficiente de correlação linear múltipla, erro quadrático total e o critério de Akaike (HOCKING, 1976).

Para a execução da seleção das variáveis, inicialmente são calculadas as correlações entre todas as variáveis independentes com a variável dependente. A primeira variável a ser considerada no modelo de regressão será aquela que possuir o mais alto coeficiente de correlação com a variável dependente. Construída a análise de regressão de Y em função de x_j selecionada, são obtidos pelo método dos mínimos quadrados as somas de quadrados da regressão e a soma de quadrados dos desvios da regressão. Após isso, é realizado o teste F para a regressão e, caso seja significativo, em um nível α de probabilidade, a variável independente considerada deve ser mantida no modelo. Em caso do teste F para regressão não ser significativo, a análise é finalizada, concluindo-se que não há variável independente que explique significativamente as variações na variável resposta, pois se a variável mais correlacionada com Y não for significativa na análise de regressão, nenhuma outra será. O ajuste do modelo é dado pelo coeficiente de determinação dado por:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQTotal}100 \tag{74}$$

sendo: SQR a soma de quadrados da regressão e $SQTotal$ a soma de quadrados total.

A tomada de decisão de manter ou excluir uma variável independente no modelo é baseada em níveis de probabilidade, obedecendo os seguintes critérios: a entrada de uma variável independente será permitida quando o valor da probabilidade associada à estatística F for inferior a α_e, e a saída também será admitida quando o valor da estatística F for superior a α_d. No passo seguinte, são calculadas as correlações parciais de todas as variáveis não incluídas no modelo com a variável resposta Y, sendo removido o efeito da variável explicativa já incluída no modelo. Novamente, é realizado a análise de regressão, agora contando com duas variáveis explicativas (x_j e x_k), sendo avaliada a influência das duas variáveis, simultaneamente, e de cada uma, após removido o efeito da outra. Nesta nova análise de regressão é verificado o novo valor do coeficiente de determinação associado e a contribuição de cada variável na redução da soma de quadrados de desvios por meio do teste F parcial. Para isto, são necessárias as seguintes informações:

Para x_j

$$F = \frac{SQR(x_k, x_j) - SQR(x_k)}{SQD(x_k, x_j)/(n - v - 1)} \qquad e \qquad R^2 = 1 - \frac{SQD}{SQD(/x_j)} \tag{75}$$

Para x_k

$$F = \frac{SQR(x_k, x_j) - SQR(x_j)}{SQD(x_k, x_j)/(n - v - 1)} \qquad e \qquad R^2 = 1 - \frac{SQD}{SQD(/x_k)} \tag{76}$$

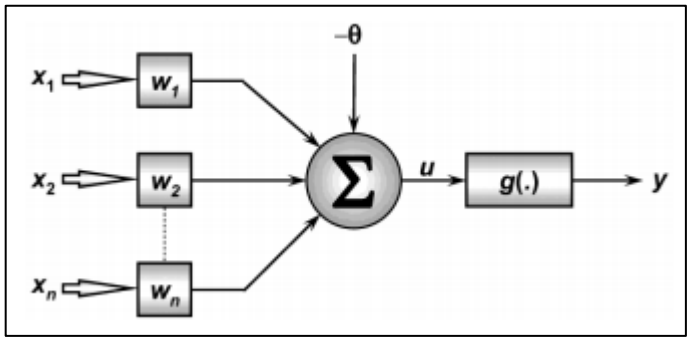
Deve ser avaliado se os valores de probabilidade associados às estatísticas F parciais superam os níveis críticos estabelecidos para entrada ou exclusão de variáveis. A partir disto, mais uma vez

são calculadas as correlações parciais das variáveis não incluídas no modelo, após removidos os efeitos das variáveis que já estão na análise e todo o processo é repetido novamente.

4.11 Redes Neurais Artificiais

Pertencente ao campo da inteligência artificial, as redes neurais artificiais (RNAs) são capazes de realizar simulações de diferentes situações através de estruturas lógico-matemáticas, se utilizando de dados experimentais (BITTAR; ALVES; DE MELO, 2018). Sua denominação é devida ao fato de sua estrutura ser baseada na conexão de neurônios biológicos em que se utiliza um método de aprendizado capaz de reter as características apresentadas pelos dados experimentais. A unidade básica de processamento das RNAs são os neurônios artificiais, estes por sua vez, representam de forma simplificada o comportamento e as funções dos neurônios biológicos por meio de uma estrutura lógico-matemática. A estrutura de um neurônio artificial é apresentada na Figura 5.

Figura 5: Estrutura de um neurônio artificial



Fonte: (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010)

Considerando as informações da Figura 5, temos que: x_1, x_2 e x_n são os sinais de entrada, w_1, w_2 e w_n são os pesos sinápticos a serem otimizados, θ é o limiar de ativação, u representa o potencial de ativação, g é a função de ativação e y é o sinal de saída. O resultado produzido pelo neurônio artificial pode ser representado pelas equações a seguir

$$u = \sum_{i=1}^{n} w_i \, x_i - \theta \tag{77}$$

$$y = g(u). \tag{78}$$

Os sinais de entrada são as medidas provenientes do meio externo e representam os valores assumidos pelas variáveis de uma aplicação específica. Normalmente, estes valores são normalizados visando incrementar a eficiência computacional dos algoritmos de aprendizagem. Os pesos sinápticos são os valores que servirão para ponderar cada uma das variáveis de entrada da rede. A função do

combinador linear é agregar todo os sinais de entrada que foram ponderados pelos respectivos pesos sinápticos a fim de produzir um valor de potencial de ativação. O limiar de ativação é a variável que especifica qual será o patamar apropriado para que o resultado produzido pelo combinador linear possa gerar um valor de disparo em direção à saída do neurônio. Desta forma, o potencial de ativação é o resultado produzido pela diferença do valor produzido entre o combinador linear e o limiar de ativação. A função de ativação tem como objetivo limitar a saída do neurônio dentro de um intervalo de valores a serem assumidos pela sua imagem funcional. Por fim, o sinal de saída é o valor final produzido pelo neurônio em relação a um determinado conjunto de sinais de entrada, que também pode ser utilizado por outros neurônios que possam estar sequencialmente interligados (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Em relação a função de ativação, dependendo do objetivo do problema modelado, os neurônios podem possuir diferentes funções de ativação para cada camada. Algumas funções empregadas são: logística, tangente hiperbólica, gaussiana e linear. Neste trabalho, é utilizada a função tangente hiperbólica, que assume valores positivos e negativos, podendo trazer benefícios analíticos para a modelagem do problema (FLECK et al., 2016).

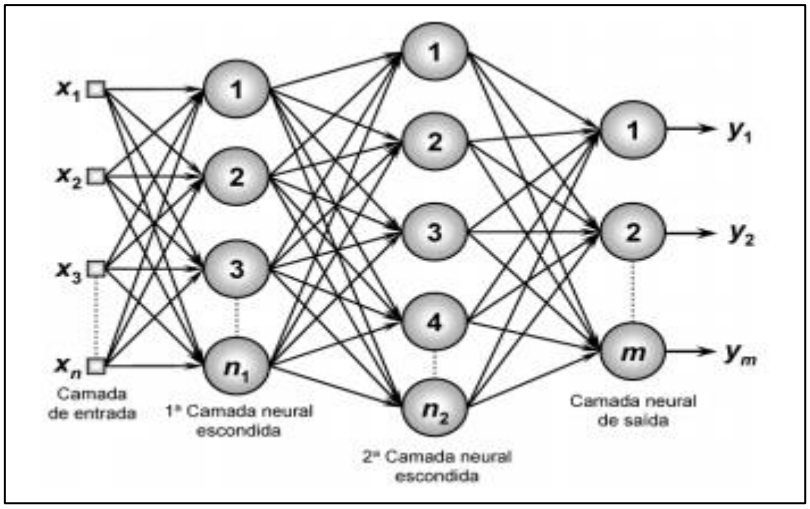
Uma RNA pode ser composta por um ou vários neurônios artificiais interconectados que processam as informações, podendo estar distribuídos em uma ou mais camadas. Basicamente uma RNA pode ser dividida em três partes, denominadas de camadas, sendo denominadas de camada de entrada, camada escondida e camada de saída. A camada de entrada é responsável pelo recebimento de informações (dados), sinais. A camada escondida é composta por neurônios artificiais responsáveis de extrair as caraterísticas associadas ao processo ou sistema a ser inferido. Por fim, a camada de saída é responsável pela produção e apresentação do resultado final dos processamentos realizados pelos neurônios das camadas interiores (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2000).

Das principais arquiteturas de RNAs, a mais comum é do tipo *feedforward*, em que o sinal se propaga em apenas um sentido, da camada de entrada até a camada de saída. Esta arquitetura pode ser classificada como *feedforward* de camada simples, contendo apenas uma camada de entrada e uma de saída, ou *feedforward* de múltiplas camadas, que além de possuir a camada de entrada e de saída, contém uma ou mais camadas intermediárias. Outras arquiteturas que podem ser citadas são as redes recorrentes e as redes reticuladas (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Entre os principais tipos de redes com arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas se encontra o *Perceptron* multicamadas. O *Perceptron* é a forma mais simples de configuração de uma RNA, cujo propósito foca em implementar um modelo computacional inspirado na retina, em que se objetiva um elemento de percepção eletrônica de sinais. A rede *Perceptron* de múltiplas camadas é de grande popularidade devido ao fato de que tem sido aplicada com sucesso a uma grande variedade de problemas de processamento de informação, incluindo classificação de padrões, aproximação de

funções e previsão de séries temporais (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2000). Na Figura 6 é apresentada uma rede neural artificial com camadas escondidas.

Figura 6: Exemplo de rede de camadas múltiplas



Fonte: (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010)

A aprendizagem de uma RNA ocorre pela implementação de algoritmos e através de iterações que modificam os pesos sinápticos de uma forma ordenada a fim de produzir uma saída aproximada da saída real. Um dos métodos mais utilizados para o treinamento de redes neurais *Perceptron* multicamadas é o *backpropagation*, também conhecido por algoritmo de retro propagação do erro. O método é baseado no princípio de aprendizado por correção de erro, no qual o erro é retro propagado da camada de saída para as camadas intermediárias da RNA. O processo de treinamento de uma RNA pelo algoritmo *backpropagation* é realizada mediante a aplicação sucessiva de duas fases bem especificas, a fase *forward* e a fase *backward*. Na primeira fase (fase *forward*) o vetor de entrada é apresentado para a rede e propagado para determinar os valores da saída. A seguir, o vetor de saída produzido pela rede é comparado com o vetor de saída desejado, resultando num sinal de erro. Na segunda fase (fase *backward*) o erro obtido é retro propagado através da rede para permitir o ajuste dos pesos. Este processo é repetido até que a rede responda, para cada vetor de entrada, com um vetor de saída com valores suficientemente próximos dos valores desejados (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Diversas variações do método *backpropagation* têm sido propostas com o objetivo de tornar o processo de convergência mais eficiente. Entre tais aperfeiçoamentos, tem-se a inserção do método de Levenberg-Marquardt, que auxilia na redução do tempo de convergência e diminui o esforço computacional.

4.12 Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos são uma técnica de inteligência artificial inspirado nos mecanismos de evolução de seres vivos, os quais proporcionam agilidade na formulação e solução de problemas de otimização. Além disto, embora sejam frequentemente vistos como otimizadores de funções, sua gama de problemas aos quais podem ser aplicados é bastante ampla (ZBIGNIEW, 1996; ZHENG et al., 2017; DORNELLES et al., 2018).

Baseados no modelo Darwiniano da evolução genética dos seres vivos, os algoritmos genéticos utilizam um conjunto de possíveis soluções (ou população) a qual é submetida à reprodução seletiva e estratégias de recombinação, permitindo encontrar soluções melhores (POLTOSI; LEMKE, 2009; SOUZA et al., 2010). Dentre os principais procedimentos que constituem o funcionamento de um algoritmo genético, destaca-se a geração de uma população de soluções, a mutação dos indivíduos, a aplicação dos operadores genéticos, a definição da função objetivo e da função aptidão (PAL; WANG, 2018; SIVANANDAM; DEEPA, 2018).

A otimização com o uso dos algoritmos genéticos inicia com a geração de uma população de cromossomos (possíveis soluções) do problema a ser resolvido. A partir da população inicial são realizadas várias gerações visando obter melhores indivíduos. Durante este processo evolutivo, cada um dos indivíduos da população é avaliado em cada geração (LINDEN, 2012). Esta avaliação é realizada pela função de avalição ou função de fitness, que atribui a cada indivíduo uma nota, em que quanto maior o valor do *fitness* melhor é a aptidão. A função aptidão é modelada de acordo com o problema, fornecendo um valor de qualidade que é uma medida da eficiência. Isto significa que os indivíduos com maior aptidão terão maior probabilidade de serem selecionados como candidatos para uma nova população (DE LACERDA; DE CARVALHO, 1999; RODRIGUES et al., 2004). Por meio deste operador é possível selecionar, por diferentes procedimentos, indivíduos da população (pais) para participar do processo de reprodução e dar origem aos filhos (nova população). O método utilizado na seleção de pais pode influenciar bastante o resultado final, pois este pode acelerar ou retardar a ocorrência da convergência genética. Dentre os principais métodos de seleção, temos: seleção por torneio, seleção por roleta e seleção por *ranking* (LINDEN, 2012).

O método de seleção por torneio consiste em escolher aleatoriamente um número de indivíduos da população, com probabilidades iguais, e comparar os seus valores de aptidão. O cromossomo com maior aptidão é selecionado para a população intermediária. Este processo é repetido até formar a nova população (POLTOSI; LEMKE, 2009).

A seleção por roleta é realizada por meio de um sorteio, em que os indivíduos são ordenados de acordo com a sua aptidão e lhes são atribuídas probabilidades decrescentes de serem escolhidos. Estas probabilidades são proporcionais à razão entre a adequação do indivíduo e a soma das adequações de todos os indivíduos da população. A escolha é feita então aleatoriamente de acordo

com essas probabilidades. Dessa forma, é possível escolher os “pais” mais bem adaptados, sem excluir a chance dos “pais” menos adaptados de serem escolhidos (LINDEN, 2012).

A seleção por *ranking* é um método de seleção que evita a convergência prematura e a dominância de um super indivíduo. O seu princípio consiste em ordenar todos os elementos de acordo com a sua função de avaliação e usar este *ranking* como base da seleção, ao invés de usar diretamente o valor da avaliação. Essa abordagem evita que a maior parte da seleção seja feita por indivíduos mais aptos, reduzindo a pressão seletiva (ZBIGNIEW, 1996).

Após a seleção dos indivíduos, dois operadores genéticos são utilizados para obtenção da nova população: o cruzamento e a mutação. O operador de cruzamento, também chamado operador de *crossover*, é responsável por realizar a combinação de dois indivíduos para gerar dois ou mais filhos. A eficiência da busca depende em grande parte da diversidade da população e da necessidade seletiva (GOLDBARG, 2005). O operador de mutação permite a alteração do código genético de forma aleatória, acrescentando novas informações ao processo de pesquisa. Seu principal objetivo é garantir a diversidade das populações, a fim de reduzir as chances de o algoritmo ficar preso em mínimos locais (GOMES et al., 2017).

5 CLASSIFICAÇÃO DOS ANOS AGRÍCOLAS

Na agricultura, as variáveis meteorológicas como a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica apresentam forte relação com a produtividade. Além disso, estas variáveis, juntamente com a umidade do ar possuem influência direta sobre o desenvolvimento das principais doenças foliares no cultivo da aveia. Desta forma, a partir do registro destas variáveis meteorológicas, da produtividade média de grãos de aveia e do percentual médio de área foliar necrosada, realizou-se a classificação dos anos agrícolas em relação ao cultivo da aveia e ao desenvolvimento de doenças foliares. Essa classificação orientará o desenvolvimento e interpretação dos modelos e análises desenvolvidas neste trabalho.

A Tabela 3 apresenta os dados meteorológicos de temperatura, umidade e precipitação pluviométrica ocorridos nos meses de cultivo do experimento, durante os anos considerado. Além disto, observa-se as médias de precipitação pluviométrica ocorrida nos últimos 30 anos para cada mês, as médias de produtividade de grãos de aveia, independente de cultivar e condição de uso de fungicida. As médias de área foliar necrosada foram calculadas observando os valores obtidos para o momento de avaliação de 105 DAE, para todas as cultivares. Na Figura 6 estão apresentados o ciclo de cultivo da aveia, a partir da emergência, em cada ano agrícola, com a representação das temperaturas mínimas e máximas e a dispersão das precipitações. Além disto, estão destacados os momentos de aplicação do nitrogênio (N-fertilizante), do fungicida e a colheita.

As informações apresentadas na Tabela 3 e Figura 6 foram utilizadas para a classificação dos anos agrícolas em: ano aceitável ao cultivo da aveia (AAC), ano favorável ao cultivo da aveia (AFC), ano desfavorável ao cultivo da aveia (ADC), ano favorável às doenças foliares (AFD) e ano desfavorável às doenças foliares (ADD), considerando uma expectativa de produtividade de grãos de 3000 kg ha^{-1}.

No ano de 2015, na maioria dos meses, as temperaturas médias atingiram valores consideráveis para favorecer o desenvolvimento das doenças foliares ($\geq 18°C$). A precipitação pluviométrica permaneceu um pouco a cima da média histórica dos últimos 30 anos, com maior frequência e volume de chuvas durante o período inicial do ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 6). Foi observada condição de umidade de solo na aplicação de nitrogênio por precipitação pluviométrica em momento anterior à aplicação do nutriente. As condições de média a elevada temperatura e umidade do ar e volume de precipitação pluviométrica ao longo do ciclo em 2015 indicou ambiente favorável ao desenvolvimento de doenças foliares, como também, ao desenvolvimento da cultura. Esta condição é reforçada pela produtividade de grãos obtida, um pouco a baixo da expectativa desejada (3000 kg ha^{-1}), e pelo considerável valor de área foliar necrosada observado nas cultivares (Tabela 3). Desta forma, pelos valores de produtividade e área foliar necrosada obtidas, o ano de 2015 foi classificado

como um ano aceitável ao cultivo da aveia (AAC) e ano favorável ao desenvolvimento das doenças foliares (AFD).

No ano de 2016 (Tabela 3) foram observados valores reduzidos de temperatura mínima, máxima e média e de maior estabilidade ao longo do ciclo. Além disso, as condições de precipitação, embora mais reduzidas em relação à média histórica, evidenciaram, conforme Figura 6, uma adequada distribuição. Destaca-se que, tanto a temperatura quanto a precipitação, não foram elevadas na fase vegetativa e, embora, na fase de enchimento de grãos ocorressem chuvas mais expressivas, as temperaturas permaneceram mais amenas em relação aos outros anos. Estas condições dificultaram o desenvolvimento de doenças foliares, o que pode ser observado pela reduzida média de área foliar necrosada obtida para as cultivares aos 105 DAE. Além disso, no momento de aplicação do nitrogênio foi observado a ocorrência de precipitação alguns dias após a sua aplicação, favorecendo a absorção e aproveitamento do nutriente pelas plantas. Desta forma, conforme Tabela 3, a média obtida de 3971 kg ha^{-1} foi superior à expectativa de produtividade desejada (3000 kg $ha^{-}1$) pelo fornecimento de nitrogênio, condição que indica ano favorável ao cultivo da aveia (AFC) e desfavorável às das doenças foliares (ADD).

Em 2017, os valores de temperatura mínima, máxima e média foram mais elevados em relação aos anos de 2015 e 2016 e de forte instabilidade de temperatura na fase vegetativa. As precipitações pluviométricas se mostraram mais restritivas nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura, com valores mais expressivos na fase de enchimento de grãos. Isto proporcionou condições de umidade do solo reduzidas no momento de aplicação do nitrogênio (Figura 6), o que diminui a eficiência de absorção do nutriente e aumenta as perdas por volatilização, principalmente pelas condições de temperatura mais elevadas. Além disto, estas condições favoreceram uma maior severidade das doenças foliares nas fases finais de cultivo, confirmada pela elevada média de área foliar necrosada observada pelas cultivares (Tabela 3). Desta forma, tendo em vista a média de produtividade obtida (1946 kg ha^{-1}) o ano de 2017 foi classificado como um ano desfavorável ao cultivo da aveia (ADC) e ano favorável às doenças foliares (AFD).

Tabela 3: Valores de temperatura, umidade e precipitação nos meses de cultivo e médias de produtividade de grãos e área foliar necrosada em aveia na classificação de ano agrícola.

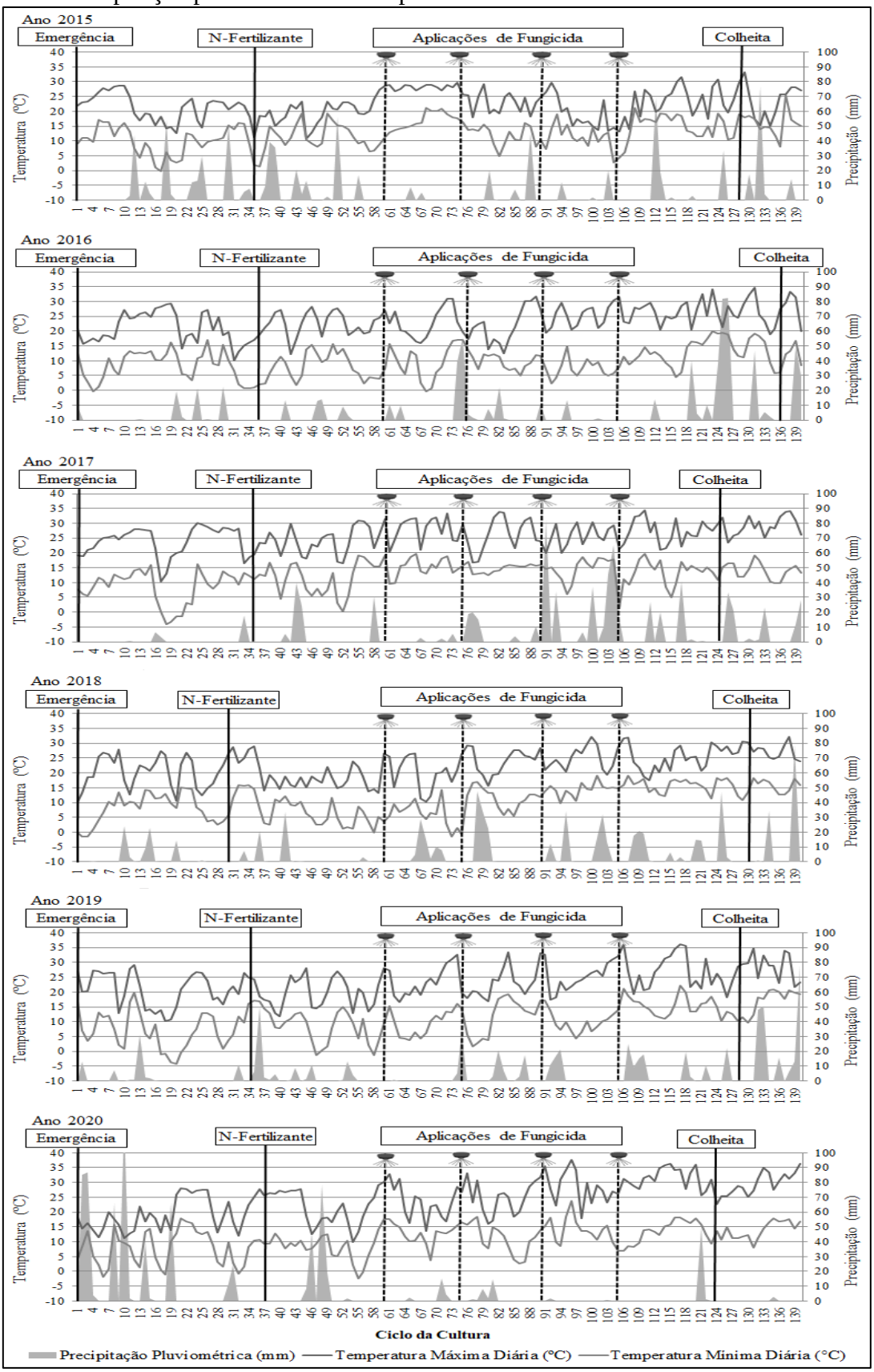
Mês	Temperatura Média (°C)			Umidade Média (%)			Precipitação (mm)		PG	AFN	Classe	
	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	30 anos*	Ocorrida	(kg ha^{-1})	(%)	Planta	Doença
						2015						
Maio	13	23	18	68	96	82	161	181				
Junho	10	21	16	67	96	82	141	228				
Julho	11	21	16	67	95	81	131	211				
Agosto	13	25	19	58	93	76	111	86	2636	32	AAC	AFD
Setembro	13	21	17	57	94	76	149	127				
Outubro	15	25	20	47	92	70	227	161				
Total	-	-	-	-	-	-	920	994				
						2016						
Maio	11	21	16	65	95	80	161	55				
Junho	5	19	12	54	94	74	141	10				
Julho	9	22	15	60	92	76	131	80				
Agosto	9	23	16	60	92	76	111	160	3971	5	AFC	ADD
Setembro	8	23	16	53	90	72	149	56				
Outubro	12	25	19	53	91	72	227	326				
Total	-	-	-	-	-	-	920	687				
						2017						
Maio	14	22	18	72	92	82	161	434				
Junho	11	22	16	64	92	78	141	146				
Julho	8	24	16	43	89	66	131	10				
Agosto	11	24	18	54	91	73	111	117	1946	72	ADC	AFD
Setembro	15	27	21	60	91	76	149	161				
Outubro	14	27	20	56	92	74	227	304				
Total	-	-	-	-	-	-	920	1172				
						2018						
Maio	13	26	20	59	93	76	161	63				
Junho	7	19	13	67	95	81	141	104				
Julho	9	20	15	66	95	81	131	80				
Agosto	6	20	13	58	93	76	111	107	2186	92	ADC	AFD
Setembro	13	25	19	58	94	76	149	184				
Outubro	16	25	20	47	92	70	227	243				
Total	-	-	-	-	-	-	920	780				
						2019						
Maio	14	22	18	68	96	82	161	202				
Junho	12	24	18	50	92	71	141	55				
Julho	8	19	13	55	94	74	131	90				
Agosto	8	22	15	48	92	70	111	69	1713	78	ADC	AFD
Setembro	11	24	17	48	91	69	149	99				
Outubro	15	28	21	47	90	68	227	236				
Total	-	-	-	-	-	-	920	751				
						2020						
Maio	9	22	15	57	95	76	161	173				
Junho	11	21	16	72	94	83	141	291				
Julho	8	19	13	68	95	81	131	336				
Agosto	10	23	16	58	93	76	111	156	1330	93	ADC	AFD
Setembro	12	25	18	60	94	77	149	48				
Outubro	14	30	22	44	91	67	227	52				
Total	-	-	-	-	-	-	920	1056				

Mín: mínimo; Max: máximo; *: média de precipitação dos últimos 30 anos; PG: produtividade de grãos; AFN: área foliar necrosada avaliada aos 105 DAE; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; AFD: ano favorável às doenças foliares; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia; ADD: ano desfavorável às doenças foliares.

No ano de 2018, no momento de aplicação do nitrogênio não havia umidade no solo e após houve um aumento da temperatura, o que pode ter favorecido a volatilização do nutriente. O volume de precipitação pluviométrica total registrada no período foi inferior ao observado pela média histórica dos últimos 30 anos (Tabela 3), com distribuição adequada ao longo do ciclo, porém com maior concentração nos estágios finais de desenvolvimento da cultura. Este fato, aliado ao aumento da temperatura e umidade do ar, favorece maior severidade das doenças foliares, fato observado pelo elevado valor da área foliar necrosada obtida aos 105 DAE (Tabela 3). A partir destas informações o ano de 2018 é classificado como desfavorável ao cultivo da aveia (ADC) e ano favorável às doenças foliares (AFD).

Para o ano de 2019, observa-se reduzidas médias de temperatura para os meses de julho e agosto, juntamente com médias de umidade mais reduzidas. Apesar destas condições favorecerem uma maior restrição ao desenvolvimento das doenças foliares, para os demais meses de cultivo se observam condições favoráveis aos fungos, principalmente nos momentos finais de cultivo, em que são observados valores mais elevados de temperatura. Em relação à precipitação pluviométrica no ano de 2019 em comparação à média dos últimos 30 anos, percebe-se que a mesma ficou abaixo da média histórica. Conforme a Figura 6, no momento da adubação nitrogenada houve adequada umidade no solo por chuvas que ocorreram em dias anteriores, porém a ocorrência de uma considerável precipitação após a adubação pode ter favorecido a perde do nutriente por lixiviação. Além disto, houve uma maior concentração de precipitações nas fases de florescimento, enchimento de grãos e maturidade, com aumento da temperatura, que como comentado, favorecem o desenvolvimento das doenças foliares. Desta forma, pelas condições apresentadas e média de produtividade obtida, o ano de 2019 foi classificado como ano desfavorável ao cultivo da aveia (ADC) e ano favorável às doenças foliares (AFD).

Figura 7: Precipitação pluviométrica e temperaturas mínimas e máximas no cultivo da aveia.



Fonte: Próprio autor (2022)

Em 2020, no estágio inicial de desenvolvimento da cultura da aveia, uma grande concentração de precipitações foi observada, garantindo umidade no momento de adubação nitrogenada. Por outro lado, a partir de 50 dias do ciclo de cultivo, um grande período sem chuvas provocou grande restrição de umidade de solo, comprometendo as fases de afilhamento, elongação e enchimento de grãos, o que, consequentemente afetou na produtividade de grãos. Além disto, observou-se nestes estágios temperaturas mais elevadas, o que favoreceu o surgimento e progresso das doenças foliares, comprovado pelo alto valor médio de área foliar necrosada observado. A combinação destes fatores, culminou em reduzida produtividade de grãos, visto a expectativa de 3000 kg ha^{-1}. Desta forma, o ano de 2020 foi classificado como desfavorável ao cultivo da aveia (ADC) e ano favorável às doenças foliares (AFD).

As condições meteorológicas exercem forte influência sobre a produtividade em culturas de inverno, como na aveia, que requer temperaturas baixas e adequada distribuição de chuvas (ARENHARDT et al., 2015a; SCREMIN et al., 2017). No cultivo da aveia, as temperaturas mais amenas e qualidade de radiação favorecem o afilhamento e enchimento de grãos. Entretanto, no período próximo da floração, baixas temperaturas do ar, inferiores a 2 e 3 °C, podem causar danos às folhas e colmo, além de esterilidade das flores (CASTRO; COSTA; FERRARI NETO, 2012; LÂNGARO; CARVALHO, 2014). As baixas temperaturas são igualmente prejudiciais durante o período de formação dos grãos, em que geadas podem paralisar o seu crescimento, resultando em grãos enrugados e de baixo peso (MACEDO-CRUZ et al., 2011; CASTRO; COSTA; FERRARI NETO, 2012).

No que se refere à umidade do ar, trata-se de um fator ambiental dos mais importantes para o sucesso da cultura, em que a alta umidade do ar é desfavorável ao crescimento das plantas por estar diretamente relacionada com o aparecimento de moléstias, como a ferrugem da folha (NAZARENO et al., 2018; BHARDWAJ; BANYAL; ROY, 2021). Entretanto, condições climáticas frias e de alta umidade são apontadas como decisivas para um bom desenvolvimento das espiguetas e para obtenção de um maior número de grãos por panícula (CHMIELEWSKI; KÖHN, 1999).

Em relação à precipitação, o cultivo da aveia não necessita de precipitações pluviométricas com grandes volumes, porém, que estas ocorram de forma bem distribuídas e que favoreça adequada umidade do solo. Muitos destacam a precipitação como a variável meteorológica que mais afeta a produtividade, pois além de estar diretamente ligada ao desenvolvimento das plantas, tem forte influência sobre o manejo do nitrogênio, em que a ocorrência de grandes volumes antes e depois da adubação pode ocasionar a redução da eficiência de absorção do nutriente pela planta (CASTRO; COSTA; FERRARI NETO, 2012; SCREMIN et al., 2017; ASEEVA; MELNICHUK, 2018).

6 REGRESSÃO E ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE AVEIA MAIS RESISTENTES ÀS DOENÇAS FOLIARES SEM USO DE FUNGICIDA

6.1 Introdução

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma das principais espécies cultivadas no sul do Brasil e devido aos seus diferentes propósitos tem se tornado uma importante alternativa de diversificação e contribuição econômica para a agricultura no país (SMULDERS et al., 2018; DORNELLES et al., 2020). Durante o seu cultivo, para a obtenção de uma produção de grãos satisfatória, é necessária a aplicação de fungicidas para o controle eficiente de doenças que afetam o desenvolvimento da planta (NAZARENO et al., 2018; VILVERT et al., 2021). Entre estas doenças, destaque é dado as doenças foliares, como a ferrugem da folha (*Puccinia coronata Cda. f.sp. avenae*) e a helmintosporiose [*Drechslera avenae (Eidam) El Sharif*] que podem apresentar grande severidade, comprometendo as funções biológicas da planta e, consequentemente, a produtividade de grãos (MARTINELLI et al., 2009; NAZARENO et al., 2017). A maior severidade destas doenças é observada ao final da estação fria, onde as cultivares encontram-se na fase de enchimento de grãos, ocasionando a concentração de aplicação dos agroquímicos neste período. Isto pode implicar na permanência de resíduos dos agrotóxicos nos grãos, resultando na produção de alimentos à base de aveia contaminados, além dos prejuízos ao meio ambiente (DORNELLES et al., 2021; JIANG et al., 2021).

Como forma de minimizar os danos causados pelas doenças foliares e reduzir a utilização de fungicida, é necessária a utilização de cultivares de aveia branca com maior resistência genética às doenças foliares e que apresentem características de adaptabilidade e estabilidade frente as alterações meteorológicas (SÁNCHEZ-MARTÍN et al., 2017; DORNELLES et al., 2020). No Brasil, existe um grande número de cultivares de aveia recomendadas ao cultivo, que se diferenciam quanto ao tempo de cultivo, a estatura, a resistência genética às doenças e às respostas frente às alterações do ambiente (OLIVEIRA et al., 2014; MARCOS et al., 2017).

Uma ferramenta que pode auxiliar na identificação de cultivares mais resistentes às doenças foliares é a modelagem matemática por meio da análise de regressão. A análise de regressão é uma ferramenta estatística que permite relacionar uma ou mais variáveis independentes à uma variável dependente (PATURI, NARALA, 2018; BAZDARIC et al., 2021). Ela possibilita a explicitação do comportamento e relacionamento das variáveis consideradas no estudo, permitindo realizar simulações e otimizações, contribuindo na tomada de decisões em diferentes problemáticas (SILVA; DE MATTOS, 2017; MANTAI et al., 2021a). Além disto, ela pode dar suporte para modelos biométricos que possibilitam a interpretação e avaliação das características de adaptabilidade e estabilidade de cultivares frente às variações meteorológicas e de manejos (CRUZ; REGAZZI;

CARNEIRO, 2012). O modelo descrito por Eberhart e Russel baseia-se na análise de regressão linear simples, medindo a resposta de cada genótipo frente às variações ambientais. Os coeficientes de regressão deste modelo são estimados a partir de um índice ambiental, gerando estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (DA SILVA et al., 2015). Desta forma, a aplicação da análise de regressão pode auxiliar na identificação da taxa de evolução da área foliar necrosada em função dos dias de cultivo da aveia na identificação das cultivares mais resistentes as doenças foliares. Já a análise das características de adaptabilidade e estabilidade pode permitir o reconhecimento de cultivares mais responsivas e estáveis às variações meteorológicas, na promoção de um cultivo mais eficiente e sustentável.

O objetivo do capítulo é identificar o melhor momento de avaliação da área foliar necrosada e determinar a taxa de evolução das doenças foliares em cultivares de aveia. Além disto, obter parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para reconhecimento de cultivares mais adaptadas e estáveis sobre à área foliar necrosada e à produtividade de grãos na condição sem uso do fungicida.

6.2 Materiais e Métodos

Os procedimentos metodológicos realizados para obtenção dos dados experimentais são descritos na metodologia geral. Para este capítulo foram considerados os dados da área foliar necrosada e produtividade de grãos provenientes somente da condição em que não houve a utilização de fungicida (SF), a fim de evidenciar o progresso da necrose foliar com possibilidade de identificação de cultivares com maior resistência as doenças. As médias de área foliar necrosada obtidas para cada cultivar foram classificadas com comportamento superior (^{S}) quando os valores obtidos foram inferiores à média menos um desvio padrão, calculados para cada momento de avaliação considerado, permitindo identificar as cultivares com as menores médias de necrose foliar. Para a determinação do melhor momento de avaliação da área foliar necrosada em cada ano agrícola, foram observados os valores de desvios padrão obtidos em cada momento de avaliação considerado. O melhor momento de avaliação foi determinado como sendo aquele que apresentou maior valor de desvio padrão, indicando maior variabilidade dos dados, ou seja, maior variabilidade entre as cultivares.

Foi realizada análise de variância para verificação dos efeitos principais e de interação entre cultivares e momentos de avaliação da área foliar (não apresentado). Após foi realizada análise de regressão linear simples para determinação da taxa de evolução das doenças foliares nas cultivares de aveia, em função do número de dias do ciclo, em cada ano agrícola. As regressões foram obtidas considerando o intervalo da variável independente (DAE) de 60 DAE até o melhor momento de avaliação determinado para cada ano agrícola. O desempenho das cultivares foi avaliado considerando o coeficiente angular (b_1), que indica a taxa de crescimento da variável dependente

(área foliar necrosada) pela variável independente (DAE). Este coeficiente foi utilizado para classificação das cultivares com desempenho superior e inferior. O desempenho superior (^{S}) ocorre quando a taxa de progressão da doença é inferior à média menos um desvio padrão. O desempenho inferior (^{I}) ocorre quando há superioridade à média mais um desvio padrão. Esta classificação também foi realizada considerando os valores de produtividade de grãos médios obtidos para cada cultivar, nos diferentes anos de cultivo. Para esta variável, o desempenho superior (^{S}) ocorre quando há superioridade à média mais um desvio padrão e desempenho inferior (^{I}) quando há inferioridade à média menos um desvio padrão.

Na identificação das cultivares de aveia branca com maior adaptabilidade e estabilidade frente as alterações de ano agrícola, os dados mensurados da área foliar necrosada e da produtividade de grãos foram submetidos ao modelo de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell. Além disso, foi realizado o agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott na classificação das cultivares quanto à área foliar necrosada média e à produtividade de grãos média apresentadas no modelo de adaptabilidade e estabilidade. Os modelos utilizados neste capítulo estão descritos no Capítulo 4 do trabalho e as análises foram realizadas através do software livre GENES (CRUZ, 2013), considerando o nível de significância de 5% de probabilidade de erro. Também foi utilizado o software Excel do pacote Microsoft Office.

6.3 Resultados e Discussão

Na tabela 4, considerando a área foliar necrosada ao longo do ciclo de cultivo da aveia sem o uso de fungicida, se percebe que para os anos de 2015 e 2016 as maiores variabilidades são observadas aos 105 DAE e nos demais anos a maior variabilidade é observada aos 90 DAE, pois é nestes momentos que são observados os maiores valores de desvio padrão. Desta forma, dentre os momentos considerados, 90 DAE e 105 DAE demonstram ser os momentos mais adequados para a análise da variabilidade genética de resistência aos fungos causadores das principais doenças foliares da aveia. Além disto, a maior dispersão dos dados de variabilidade aos 90 e 105 DAE foi observada no ano de 2015, indicando ser o ano mais favorável para análise da progressão das doenças e para destacar as cultivares com maior resistência genética a estas doenças.

Tabela 4: Área foliar necrosada (%) ao longo do ciclo de cultivo da aveia sem uso do fungicida.

Cultivar	$AFN_{2015(AFD)}$					$AFN_{2016(ADD)}$					$AFN_{2017(AFD)}$				
	60	75	90	105	120	60	75	90	105	120	60	75	90	105	120
Altiva	0	1^S	51	69	100	0	0	3	7	39	1	3^S	28	98	100
Brava	0	1^S	36	53	100	0	0	4	7	37	2	5	43	99	100
Guará	0	15	54	76	100	0	0	3	6	46	2	6	42	98	100
Estampa	0	27	32	35^S	100	0	6	9	13	38	1	5	39	99	100
Corona	2	16	51	98	100	0	0	4	9	37	1	4	22^S	99	100
Torena	0	9	53	69	100	0	0	2^S	4^S	42	2	5	36	99	100
Charrua	0	11	49	63	100	0	1	8	18	43	1	4	29	99	100
Guria	0	23	51	62	100	0	0	5	8	51	1	6	47	98	100
Tarimba	0	25	47	59	100	0	1	9	20	48	1	9	38	99	100
Taura	0	23	68	89	100	1	3	6	13	49	2	8	31	99	100
URS 21	0	5	42	65	100	0	1	6	14	44	1	3^S	69	99	100
Faem 007	0	2^S	40	88	100	0	3	7	15	38	1	12	49	99	100
Faem 006	0	4	40	97	100	0	0	8	18	45	2	8	48	99	100
Chiarasul	0	6	62	96	100	0	1	2^S	4^S	45	1	4	38	98	100
Carlasul	0	1^S	42	75	100	0	0	2^S	3^S	41	1	3^S	31	99	100
Brisasul	1	4	24^S	37^S	100	2	4	5	6	36	1	3^S	31	99	100
Barbarasul	1	4	45	86	100	0	1	2^S	5	52	1	3^S	38	99	100
Fapa Slava	0	29	46	52	100	0	0	15	32	38	2	5	43	99	100
Afrodite	1	2^S	61	94	100	0	0	3	5	34^S	1	4	16^S	99	100
Farroupilha	0	5	38	64	100	0	1	3	8	37	1	3^S	38	99	100
Ouro	0	3	20^S	30^S	100	0	1	5	10	38	1	3^S	60	99	100
Gaudéria	0	12	17^S	27^S	100	0	1	3	6	26^S	1	4	52	99	100
Média	0	10	44	67	100	0	1	5	11	41	1	5	39	99	100
DP	1	8	13	22	0	0	2	3	7	6	0	2	12	0	0

Cultivar	$AFN_{2018(AFD)}$					$AFN_{2019(AFD)}$					$AFN_{2020(AFD)}$				
	60	75	90	105	120	60	75	90	105	120	60	75	90	105	120
Altiva	1	2	52	100	100	0	4	36	99	100	1	3	31	97	100
Brava	1	3	56	100	100	1	5	38	96	100	1	2	21	93	100
Guará	1	2	78	100	100	1	4	35	100	100	1	6	34	99	100
Estampa	1	5	57	100	100	1	1	49	98	100	0	3	6^S	99	100
Corona	0	1^S	50	100	100	0	2^S	43	98	100	1	1^S	13	97	100
Torena	1	3	54	100	100	1	6	48	97	100	1	4	17	94^S	100
Charrua	0	3	40^S	100	100	0	5	59	99	100	1	2	20	99	100
Guria	0	3	77	100	100	1	5	53	99	100	1	4	28	98	100
Tarimba	0	4	78	100	100	1	11	56	96	100	1	1^S	13	93^S	100
Taura	1	4	68	100	100	0	8	56	99	100	1	6	15	93^S	100
URS 21	0	3	74	100	100	0	8	33	99	100	0	2	17	99	100
Faem 007	2	10	55	100	100	0	7	33	96	100	1	3	21	99	100
Faem 006	1	1^S	58	100	100	1	18	56	99	100	1	8	15	100	100
Chiarasul	1	3	45	100	100	0	2^S	66	99	100	0	2	18	99	100
Carlasul	0	2	47	100	100	0	5	53	95	100	0	0^S	20	97	100
Brisasul	1	6	50	100	100	1	8	44	91^S	100	0	6	24	97	100
Barbarasul	1	2	74	100	100	1	8	60	98	100	0	3	38	98	100
Fapa Slava	1	4	41^S	100	100	1	8	73	99	100	1	4	16	96	100
Afrodite	1	5	45	100	100	1	6	33	94	100	0	2	15	96	100
Farroupilha	1	16	46	100	100	1	9	42	89^S	100	0	1^S	14	93^S	100
Ouro	2	4	67	100	100	1	12	43	85^S	100	1	4	15	100	100
Gaudéria	0	7	47	98	100	1	2^S	12^S	99	100	0	2	20	97	100
Média	1	4	57	100	100	1	7	46	97	100	1	3	20	97	100
DP	1	3	13	0	0	0	4	14	4	0	1	2	8	2	0

60, 75, 90, 105, 120: representam os dias da emergência ao momento de avaliação da área foliar necrosada em cultivares de aveia; DP: desvio padrão; ^{S}: valor inferior à média menos um desvio padrão. AFN: área foliar necrosada; ADD: ano desfavorável às doenças foliares; AFD: ano favorável às doenças foliares.

Observando os valores de área foliar necrosada das cultivares de aveia em todos os anos de cultivo se percebe que nem sempre as cultivares que mostram superioridade em um determinado ano são as mesmas que apresentam destaque nos demais anos. Porém, de modo geral, avaliando as condições dos seis anos agrícolas, é possível perceber que as cultivares Carlasul e Gaudéria, seguidas das cultivares Corona, Brisasul, Farroupilha e Ouro foram as que apresentaram maior número de médias com desempenho superior entre as cultivares, em que as cultivares Carlasul e Gaudéria apresentam cinco médias com desempenho superior, e as demais com quatro médias.

Buscando entendimento do comportamento da progressão das doenças na ausência de fungicida, na Tabela 5 são apresentadas as equações de regressão linear de progressão das doenças foliares, que indicam a taxa de evolução da necrose ao longo do ciclo de desenvolvimento da aveia, a partir de 60 DAE das plantas até o melhor momento de avaliação determinado para cada ano agrícola. Para o ano de 2015 é possível perceber através dos coeficientes angulares das equações que a cada um dia de desenvolvimento do ciclo a progressão da doença na cultivar Estampa é de 0,73% de área foliar necrosada, mostrando superioridade, assim como a cultivar Brisasul, Ouro e Gaudéria. Cultivares como Faem 006, Chiarasul e Afrodite apresentaram inferioridade, mostrando maior progressão da doença por unidade de dia.

No ano de 2016, ano desfavorável ao desenvolvimento das doenças, superioridade foi observada para as cultivares Carlasul e Brisasul. Em 2017, ano favorável ao desenvolvimento das doenças, as cultivares Altiva, Corona e Afrodite se destacaram. Para o ano de 2018, as cultivares Charrua e Fapa Slava demonstram menor progressão das doenças foliares. Em 2019 as cultivares Afrodite e Gaudéria apresentam os menores coeficientes angulares. Por fim, no ano de 2020 as cultivares Estampa e Tarimba são as cultivares com desempenho superior. De modo geral, avaliando todos os anos agrícolas se verifica que há uma modificação das cultivares que mostram superioridade em relação ao coeficiente angular das regressões encontradas. Contudo, apenas as cultivares Estampa, Brisasul, Afrodite e Gaudéria apresentaram superioridade em pelo menos dois dos seis anos agrícolas considerados, sendo um possível indicativo de um comportamento mais resistente ao avanço da necrose foliar.

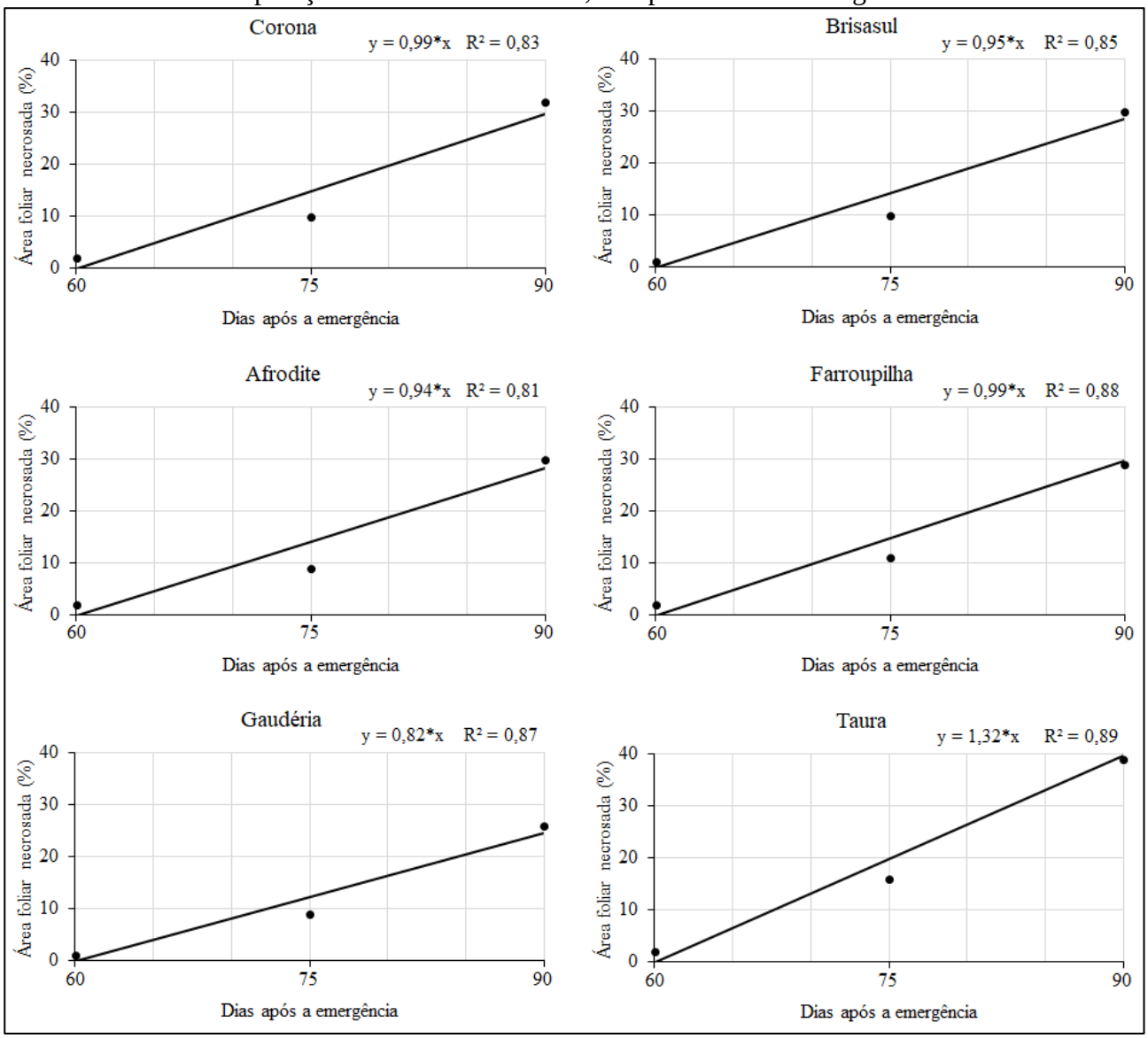
Tabela 5: Taxa de evolução da área foliar necrosada ao longo do ciclo da aveia sem uso de fungicida.

Cultivar	$AFN_{2015\ (105\ DAE)(AFD)}$		$AFN_{2016\ (105\ DAE)(ADD)}$		$AFN_{2017\ (90\ DAE)(AFD)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	$0+1{,}71^{*}x$	88	$0+0{,}16^{*}x$	89	$1+0{,}88^{S*}x$	81
Brava	$0+1{,}29^{*}x$	90	$0+0{,}19^{*}x$	90	$2+1{,}36^{*}x$	81
Guará	$0+1{,}79^{*}x$	97	$0+0{,}15^{*}x$	88	$2+1{,}36^{*}x$	82
Estampa	$7+0{,}73^{S*}x$	77	$0+0{,}28^{*}x$	97	$1+1{,}27^{*}x$	83
Corona	$2+2{,}16^{I*}x$	95	$0+0{,}20^{*}x$	86	$1+0{,}68^{S*}x$	86
Torena	$0+1{,}67^{*}x$	94	$0+0{,}09^{*}x$	89	$2+1{,}13^{*}x$	82
Charrua	$0+1{,}52^{*}x$	95	$0+0{,}41^{I*}x$	89	$1+0{,}93^{*}x$	83
Guria	$2+1{,}44^{*}x$	97	$0+0{,}21^{*}x$	90	$1+1{,}52^{*}x$	83
Tarimba	$3+1{,}32^{*}x$	97	$0+0{,}46^{I*}x$	90	$1+1{,}24^{*}x$	90
Taura	$0+2{,}08^{*}x$	98	$1+0{,}27^{*}x$	92	$2+0{,}98^{*}x$	91
URS 21	$0+1{,}54^{*}x$	93	$0+0{,}30^{*}x$	90	$1+2{,}23^{I*}x$	76
Faem 007	$0+2{,}00^{*}x$	89	$0+0{,}32^{*}x$	94	$1+1{,}59^{*}x$	91
Faem 006	$0+2{,}19^{I*}x$	88	$0+0{,}42^{I*}x$	88	$2+1{,}52^{*}x$	84
Chiarasul	$0+2{,}29^{I*}x$	93	$0+0{,}10^{*}x$	99	$1+1{,}26^{*}x$	80
Carlasul	$0+1{,}76^{*}x$	91	$0+0{,}07^{S*}x$	85	$1+0{,}99^{*}x$	81
Brisasul	$1+0{,}84^{S*}x$	94	$2+0{,}08^{S*}x$	98	$1+1{,}00^{*}x$	81
Barbarasul	$1+1{,}98^{*}x$	91	$0+0{,}10^{*}x$	96	$1+1{,}23^{*}x$	80
Fapa Slava	$6+1{,}16^{*}x$	92	$0+0{,}74^{I*}x$	88	$2+1{,}38^{*}x$	80
Afrodite	$1+2{,}25^{I*}x$	90	$0+0{,}12^{*}x$	90	$1+0{,}52^{S*}x$	86
Farroupilha	$0+1{,}50^{*}x$	94	$0+0{,}18^{*}x$	91	$1+1{,}24^{*}x$	80
Ouro	$0+0{,}70^{S*}x$	94	$0+0{,}22^{*}x$	92	$1+1{,}97^{I*}x$	78
Gaudéria	$1+0{,}56^{S*}x$	98	$0+0{,}15^{*}x$	92	$1+1{,}68^{I*}x$	79
Média	$1+1{,}57x$		$0+0{,}24x$		$1+1{,}27x$	
DP	$2+0{,}53x$		$0+0{,}16x$		$0+0{,}39x$	
Cultivar	$AFN_{2018\ (90\ DAE)(AFD)}$		$AFN_{2019\ (90\ DAE)(AFD)}$		$AFN_{2020\ (90DAE)(AFD)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	$1+1{,}72^{*}x$	76	$0+1{,}19^{*}x$	83	$1+1{,}02^{I*}x$	81
Brava	$1+1{,}82^{*}x$	78	$1+1{,}22^{*}x$	83	$1+0{,}67^{*}x$	77
Guará	$1+2{,}59^{I*}x$	76	$1+1{,}13^{*}x$	81	$1+1{,}10^{I}x$	85
Estampa	$1+1{,}87^{*}x$	81	$1+1{,}60^{*}x$	76	$0+0{,}20^{S*}x$	99
Corona	$0+1{,}64^{*}x$	77	$0+1{,}43^{*}x$	77	$1+0{,}43^{*}x$	79
Torena	$1+1{,}77^{*}x$	77	$1+1{,}57^{*}x$	84	$1+0{,}51^{*}x$	89
Charrua	$0+1{,}33^{S*}x$	80	$0+1{,}97^{*}x$	82	$1+0{,}67^{*}x$	81
Guria	$0+2{,}58^{I*}x$	78	$1+1{,}78^{*}x$	81	$1+0{,}90^{I*}x$	81
Tarimba	$0+2{,}59^{I*}x$	78	$1+1{,}84^{*}x$	89	$1+0{,}38^{S*}x$	77
Taura	$1+2{,}21^{*}x$	78	$0+1{,}86^{*}x$	85	$1+0{,}48^{*}x$	98
URS 21	$0+2{,}46^{I*}x$	78	$0+1{,}09^{*}x$	91	$0+0{,}57^{*}x$	84
Faem 007	$2+1{,}78^{*}x$	86	$0+1{,}10^{*}x$	88	$1+0{,}67^{*}x$	84
Faem 006	$1+1{,}91^{*}x$	75	$1+1{,}84^{*}x$	96	$1+0{,}49^{*}x$	100
Chiarasul	$1+1{,}48^{*}x$	79	$0+2{,}19^{I*}x$	77	$0+0{,}60x$	83
Carlasul	$0+1{,}54^{*}x$	79	$0+1{,}76^{*}x$	83	$0+0{,}65x$	75
Brisasul	$1+1{,}64^{*}x$	83	$1+1{,}41^{*}x$	87	$0+0{,}79^{*}x$	92
Barbarasul	$1+2{,}41^{I*}x$	76	$1+1{,}97^{*}x$	84	$0+1{,}26^{I*}x$	80
Fapa Slava	$1+1{,}32^{S}x$	80	$1+2{,}39^{I*}x$	83	$1+0{,}52^{*}x$	90
Afrodite	$1+1{,}47^{*}x$	82	$1+1{,}08^{S*}x$	87	$0+0{,}48^{*}x$	82
Farroupilha	$1+1{,}50^{*}x$	96	$1+1{,}35^{*}x$	88	$0+0{,}47^{*}x$	80
Ouro	$2+2{,}19^{*}x$	77	$1+1{,}40^{*}x$	92	$1+0{,}48^{*}x$	88
Gaudéria	$0+1{,}58^{*}x$	86	$1+0{,}38^{S*}x$	83	$0+0{,}68^{*}x$	81
Média	$1+1{,}88x$		$1+1{,}53x$		$1+0{,}64x$	
DP	$1+0{,}42x$		$0+0{,}45x$		$0+0{,}25x$	

AFN: área foliar necrosada (%); DAE: dias após a emergência; R^2: coeficiente de determinação (%); *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ^{S}: valor inferior à média menos um desvio padrão; ^{I}: valor superior à média mais um desvio padrão; DP: desvio padrão; ADD: ano desfavorável às doenças foliares; AFD: ano favorável às doenças foliares.

A fim de qualificar a análise geral das cultivares, na Figura 8 é ilustrado o comportamento das cultivares de aveia branca que apresentam as menores taxas de evolução da área foliar necrosada, independente de ano agrícola, juntamente com a cultivar Taura, uma das cultivares mais semeadas no estado do Rio Grande do Sul, sendo utilizada como referência de comparação as demais.

Figura 8: Evolução da área foliar necrosada em cultivares de aveia com menor taxa de progresso da necrose foliar em comparação com a cultivar Taura, independente de ano agrícola.



*: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; 60 dias após a emergência corresponde a $x = 0$; R^2: coeficiente de determinação; Fonte: Próprio autor (2022).

Percebe-se que as cultivares Corona, Brisasul, Afrodite, Farroupilha e Gaudéria possuem reduzidas taxas de progressão da doença foliar em comparação a cultivar Taura, com destaque a cultivar Gaudéria que apresentou o menor valor de coeficiente angular entre as cultivares analisadas. Além disto, verifica-se que uma das cultivares mais semeadas no estado não é necessariamente uma

das cultivares que mais apresenta resistência ao avanço da necrose foliar, e que seu rendimento pode ser pouco afetado pela perda do tecido vegetal ocasionado pelas doenças.

As cultivares de aveia recomendadas para cultivo no Brasil apresentam comportamentos distintos em resposta às modificações do ambiente e este fato pode ser observado em vários caracteres de interesse agronômico, como duração de ciclo, estatura, resistência às doenças genéticas e resistência ao acamamento (SILVA; DE MATTOS, 2017; DORNELLES et al., 2020). A caracterização das cultivares de aveia branca, quanto à alguma destas características em distintas condições de cultivo permite melhorar a estimativa do potencial genético e da variabilidade disponível (SILVA; DE MATTOS, 2017; CRESTANI et al., 2010). O progresso das doenças foliares na cultura da aveia é diretamente influenciado pelas condições meteorológicas, variabilidade genética e uso de fungicida (NAZARENO et al., 2018; LOVATTO et al., 2021). O comportamento de doenças que afetam diferentes cultivos pode ser evidenciado pela aplicação da análise de regressão. Hikishima et al. (2010) utilizaram análise de regressão linear na quantificação dos danos causados pela doença foliar ferrugem asiática sobre a produtividade de soja. Ranzi e Forcelini (2013) utilizaram regressões lineares na estimativa da expansão da área foliar necrosada causada pela mancha amarela em trigo, sob diferentes condições de uso de fungicida. Hinnah et al. (2018) utilizaram a análise de regressão linear para estimar as taxas de infecção da ferrugem no cafeeiro. Marcuzzo e Teixeira (2019) estabeleceram a partir da regressão linear simples a relação entre incidência e severidade na intensidade da queima das folhas em diferentes genótipos de cenoura. Naseri e Kazemi (2020) utilizaram, além da regressão linear, diversos modelos matemáticos para caracterizar as curvas de progresso da ferrugem em cultivares de trigo plantadas em diferentes datas no Irã.

Na Tabela 6 é apresentada a análise de adaptabilidade e estabilidade das cultivares frente a necrose foliar nos momentos de 90 DAE e 105 DAE, considerando como índice ambiental os diferentes anos agrícolas. Para a análise realizada com a área foliar necrosada aos 90 DAE, o melhor desempenho médio de redução da necrose com adaptabilidade ampla e estabilidade foi observado nas cultivares Brava, Torena, Faem 007, Faem 006, Carlasul e Farroupilha. Entretanto, de todas as cultivares analisadas aos 90 DAE, apenas as cultivares Brisasul, Afrodite, Farroupilha e Gaudéria apresentam médias reduzidas e que foram classificadas com desempenho superior em relação à média geral menos um desvio padrão. Dentre estas, destacam-se a cultivar Brisasul com reduzida média de área foliar necrosada com adaptabilidade especifica para ambiente desfavorável com estabilidade. A cultivar Farroupilha apresentou adaptabilidade ampla com estabilidade e a cultivar Afrodite apresentou adaptabilidade ampla, porém sem estabilidade da redução da expressão da necrose ao longo dos anos agrícolas.

Tabela 6: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a área foliar necrosada em cultivares de aveia em função dos anos agrícolas.

Cultivar	$AFN_{90\ DAE}$ SF (%)					$AFN_{105\ DAE}$ SF (%)				
	b_0	b_1	σ^2	R^2	QM	b_0	b_1	σ^2	R^2	QM
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020)									
Altiva	33b	0,82*	65*	77	281*	78b	1,04	-5	99	7
Brava	32b	0,90	-3	93	74	74c^S	1,05	27*	98	104*
Guará	41a^I	1,14*	135*	78	491*	80b	1,04	14*	98	67*
Estampa	32b	0,99	47*	85	227*	74c^S	1,04	225*	88	700*
Corona	31b	0,97	74*	81	308*	83a^I	0,96	186*	88	583*
Torena	34b	1,07	-1	95	80	77b	1,06*	-1	99	17
Charrua	34b	0,82*	107*	69	407*	79b	0,93*	6	99	40
Guria	43a^I	1,25*	-6	97	65	77b	1,03	-1	99	19
Tarimba	40a^I	1,30*	39*	92	204*	77b	0,89*	21*	97	87*
Taura	40a^I	1,30*	105*	85	400*	82a^I	0,92*	83*	93	272*
URS 21	40a^I	1,17*	252*	69	843*	79b	0,98	-1	99	17
Faem 007	34b	0,90	37	85	196	82a^I	0,92*	65*	94	217*
Faem 006	37a	1,05	11	92	120	85a^I	0,88*	133*	89	423*
Chiarasul	38a	1,10	164*	74	578*	82a^I	1,03	176*	90	552*
Carlasul	32b	0,92	15	90	131	78b	1,06*	13*	98	64*
Brisasul	29b^S	0,75*	35	80	189	71d^S	1,08*	161*	91	506*
Barbarasul	42a^I	1,15*	76*	85	315*	80a	1,03	79*	95	260*
Fapa Slava	39a	0,86	208*	59	710*	79b	0,79*	102*	90	330*
Afrodite	28b^S	0,88	200*	61	685*	81a^I	1,00	166*	90	522*
Farroupilha	30b^S	0,87	-17	97	31	75c^S	1,00	1	99	28
Ouro	35b	1,07	252*	65	842*	75d^S	1,05	291*	85	896*
Gaudéria	26b^S	0,62*	243*	40	814*	75d^S	1,11*	316*	85	971*
Média	35					78				
DP	5					3				

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott. DAE: dias após a emergência; $AFN_{90\ DAE}$ SF (%): área foliar necrosada na condição sem uso do fungicida, avaliada aos 90 DAE; $AFN_{105\ DAE}$ SF (%): área foliar necrosada na condição sem uso do fungicida, avaliada aos 105 DAE; b_0: média geral da cultivar; b_1: coeficiente de regressão linear; σ^2: desvio da regressão; R^2: coeficiente de determinação (%); QM: quadrado médio da fonte de variação; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t para o coeficiente de regressão e pelo teste F para os desvios da regressão e o quadrado médio. ^{S}: valor inferior à média menos um desvio padrão; ^{I}: valor superior à média mais um desvio padrão; DP: desvio padrão.

Para a análise realizada com a área foliar necrosada aos 105 DAE, o melhor desempenho médio de redução da necrose com adaptabilidade ampla e estabilidade foi observado nas cultivares Altiva, Guria, URS 21 e Farroupilha. Entretanto, as menores médias de área foliar necrosada com superioridade foram observadas nas cultivares Brava, Estampa, Brisasul, Farroupilha, Ouro e Gaudéria. Dentre estas, as cultivares Brava, Estampa e Ouro apresentaram adaptabilidade ampla, porém sem a característica de estabilidade. Já as cultivares Brisasul e Gaudéria apresentam adaptabilidade para ambientes favoráveis, mas sem estabilidade. Logo, destaque é dado a cultivar

Farroupilha que apresentou adaptabilidade ampla com estabilidade nos dois momentos considerados na análise de adaptabilidade e estabilidade, com reduzida média de área foliar necrosada.

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de produtividade de grãos para as cultivares de aveia nos seis anos agrícolas na condição sem uso de fungicida.

Tabela 7: Produtividade de grãos em cultivares de aveia, sem uso de fungicida nos anos agrícolas.

Cultivar	Produtividade de Grãos (kg ha^{-1})						$\overline{PG}$
	$2015_{(AAC)}$	$2016_{(AFC)}$	$2017_{(ADC)}$	$2018_{(ADC)}$	$2019_{(ADC)}$	$2020_{(ADC)}$	
Altiva	2321^{S}	2893	1103	1535^{S}	1097^{S}	1143	1682^{S}
Brava	1230	3298	1024	1477^{S}	825	1046	1483
Guará	1486	3553	1138	1310^{S}	746	728^{I}	1494
Estampa	1555	3266	790^{I}	1173	719	1068	1429
Corona	804	3780^{S}	976	1153	702	1025	1407
Torena	1348	2861	859^{I}	1087	556	1376^{S}	1348
Charrua	1616	3584	983	741	1026^{S}	1166	1519^{S}
Guria	1949^{S}	2311^{I}	1150	670	507	1088	1279
Tarimba	1386	3350	910^{I}	635^{I}	655	568^{I}	1251
Taura	863	2231^{I}	1069	1078	645	765	1109^{I}
URS 21	1552	3312	1025	1099	672	753^{I}	1402
Faem 007	579^{I}	3752^{S}	1436^{S}	716	678	801	1327
Faem 006	749^{I}	3461	1340	773	867	990	1363
Chiarasul	727^{I}	3036	1380^{S}	803	540^{I}	766	1209^{I}
Carlasul	1352	3802^{S}	1620^{S}	767	572	713^{I}	1471
Brisasul	1066	3362	1031	676	594	1009	1290
Barbarasul	680^{I}	3358	1220	729	555	771	1219^{I}
Fapa Slava	1189	2081^{I}	954	740	536^{I}	857	1060^{I}
Afrodite	566^{I}	4096^{S}	1199	690	774	1103	1405
Farroupilha	1324	3354	1459^{S}	691	747	1309^{S}	1481
Ouro	1386	2736	1237	797	1031^{S}	1281^{S}	1411
Gaudéria	1308	3055	1317	975	1140^{S}	1267^{S}	1510^{S}
Média	1229	3206	1146	923	736	982	1370
DP	448	522	213	274	190	227	140

$\overline{PG}$: produtividade de grãos média (kg ha^{-1}); ^{S}: valor superior à média mais um desvio padrão; ^{I}: valor inferior à média menos um desvio padrão; DP: desvio padrão; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Observando os valores de produtividade de grãos das cultivares de aveia percebe-se que, como nos valores de área foliar necrosada (Tabela 4), nem sempre as cultivares que mostram superioridade em um determinado ano são as mesmas que apresentam destaque nos demais anos. Entretanto, de modo geral, avaliando os valores obtidos nos seis anos agrícolas, é possível perceber que a cultivar Altiva, seguida das cultivares Faem 007, Carlasul, Farroupilha, Ouro e Gaudéria apresentam maior número de médias avaliadas com desempenho superior, considerando a média geral mais um desvio padrão. Contudo, analisando as médias gerais, independente de ano agrícola, as médias de produtividade que apresentaram desempenho superior correspondem as cultivares Altiva, Charrua e

Gaudéria. Observa-se que as cultivares que apresentam os menores valores de área foliar necrosada não são necessariamente as que apresentam as maiores produtividades de grãos, como no caso da cultivar Farroupilha, que não se destacou em relação as demais cultivares sobre a expressão da produtividade, independente de ano de cultivo.

Na Tabela 8 é apresentada a análise de adaptabilidade e estabilidade das cultivares frente a produtividade de grãos das cultivares de aveia, considerando como índice ambiental os diferentes anos agrícolas na condição sem uso do fungicida.

Tabela 8: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos em cultivares de aveia em função dos anos agrícolas na condição sem uso do fungicida.

Cultivar	Produtividade de grãos (kg ha^{-1})				
	b_0	b_1	σ^2	R^2	QM
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020)				
Altiva	1681a	0,69*	198515*	70	631443*
Brava	1483b	0,96	53011*	93	194930*
Guará	1493b	1,12*	46578*	95	175631*
Estampa	1428b	1,00	59774*	93	215219*
Corona	1406b	1,24*	69612*	95	244734*
Torena	1314c	0,85*	39644*	93	154829*
Charrua	1496b	1,13*	55430*	95	202186*
Guria	1279c	0,63*	198426*	66	631174*
Tarimba	1250c	1,15*	31146*	96	129335*
Taura	1108d	0,60*	15230	93	81588
URS 21	1402b	1,05	36175*	96	144420*
Faem 007	1327c	1,29*	115748*	93	383140*
Faem 006	1363b	1,11*	68268*	94	240699*
Chiarasul	1208c	0,99	57153*	93	207356*
Carlasul	1471b	1,29*	57029*	96	206983*
Brisasul	1289c	1,12*	-292	99	35017
Barbarasul	1218c	1,14*	41696*	96	160986*
Fapa Slava	1064d	0,57*	7718	94	59050
Afrodite	1404b	1,41*	132767*	93	434199*
Farroupilha	1480b	1,03	42574*	95	163617*
Ouro	1405b	0,72*	16224	95	84568
Gaudéria	1512b	0,81*	6337	97	54907*

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; b_0: média geral da cultivar; b_1: coeficiente de regressão linear; σ^2: desvio da regressão; R²: coeficiente de determinação (%); QM: quadrado médio da fonte de variação; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t para o coeficiente de regressão e pelo teste F para os desvios da regressão e o quadrado médio.

É observado que somente a cultivar Altiva obteve maior desempenho médio de produtividade de grãos, tendo como características a adaptabilidade especifica para ambientes desfavoráveis, porém sem evidenciar estabilidade sobre a expressão da variável. Por outro lado, várias cultivares evidenciaram desempenho intermediário (letra de agrupamento de médias “b”), dentre estas, cabe destacar as cultivares Brava, Estampa, URS 21 e Farroupilha, que além de apresentarem o segundo

melhor desempenho em relação a produtividade de grãos, mostraram adaptabilidade ampla. Nenhuma das cultivares com melhor desempenho evidenciaram estabilidade frente aos anos agrícolas. Este fato também é confirmado pelos valores significativos de quadrado médios da análise de variância do modelo.

A análise de adaptabilidade e estabilidade é de grande importância para os programas de melhoramento genético e na identificação de plantas mais adaptadas e estáveis frente as modificações meteorológicas (ARENHARDT et al., 2015b; CARNEIRO et al., 2019). Em trigo De Franceschi et al. (2010) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade da produção de grãos de 147 cultivares de trigo no estado do Paraná pelo modelo de Eberhart & Russel. Krüger et al. 2016 analisaram o comportamento de cultivares de canola em relação aos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade frente as modificações do ambiente. Rother et al. (2019) utilizaram diferentes métodos para avaliar as características de adaptabilidade e estabilidade de algumas cultivares de aveia branca cultivadas no Sul do Brasil. Oda et al. (2021) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade fenotípica da produtividade de grãos de genótipos de soja de ciclo tardio, considerando diferentes ambientes no estado de Minas Gerais.

6.4 Conclusão

O momento mais adequado de avaliação da área foliar necrosada em cultivares de aveia se dá próximo aos 90 e 105 dias após a emergência, oportunizando a maior variabilidade entre as cultivares em resposta às doenças foliares. Entre os anos considerados no estudo, o ano de 2015 se destaca como mais favorável à análise da resistência genética.

Pela análise da regressão linear as cultivares Corona, Brisasul, Afrodite, Farroupilha e Gaudéria possuem as menores taxas de evolução de necrose foliar em condição de ausência de fungicida, independente de ano agrícola. A cultivar Farroupilha apresenta reduzida necrose foliar e adaptabilidade ampla com estabilidade para a área foliar necrosada, tendo os anos agrícolas como índice ambiental, independente do momento de avaliação.

A cultivar Altiva apresenta maior desempenho de expressão da produtividade de grãos, com adaptabilidade especifica a ambientes desfavoráveis, mas sem estabilidade. As cultivares Brava, Estampa, URS 21 e Farroupilha apresentam o segundo melhor desempenho com adaptabilidade ampla, porém sem estabilidade na produtividade.

7 REGRESSÃO E TÉCNICAS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE NA IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE AVEIA MAIS RESILIENTES À REDUÇÃO DE USO DE FUNGICIDA COM CENÁRIO METEOROLÓGICOS

7.1 Introdução

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma das espécies de estação fria mais cultivadas no sul do Brasil, sendo utilizada para cobertura do solo, rotação de culturas e produção de alimentos destinados à alimentação animal e humana (REGINATTO et al., 2021; AZEVEDO et al., 2022). Devido aos seus múltiplos propósitos, a área destinada ao cultivo da aveia vem apresentando crescimento significativo nos últimos anos. Entretanto, juntamente com o aumento das áreas destinadas para o seu cultivo, intensificou-se os riscos de epidemias (DORNELLES et al., 2021; REGINATTO et al., 2021). Dentre as doenças que acometem esta cultura, as doenças foliares tem recebido maior atenção, pois podem acarretar em danos irreversíveis à produção de grãos (DIETZ; SCHIERENBECK; SIMÓN, 2019; REGINATTO et al., 2021).

As doenças foliares da aveia não são satisfatoriamente controladas pela resistência genética das cultivares, sendo necessário a aplicação de fungicidas para o controle eficaz e garantia de produtividade de grãos (MAY; BRANDT; HUTT-TAYLOR, 2020; BHARDWAJ; BANYAL; ROY, 2021). Devido aos grãos de aveia serem utilizados na elaboração de alimentos *in natura*, o manejo imprudente do fungicida evidencia um modelo insustentável de agricultura, elevando os riscos de contaminação dos grãos e do meio ambiente (DA SILVA et al., 2015; DORNELLES et al., 2020). Contudo, no Brasil há um grande número de cultivares recomendada para cultivo, que se diferem quanto à resistência genética às doenças foliares e às respostas frente às variações de manejo e do ambiente. A utilização de cultivares mais adaptadas e estáveis à redução do fungicida e às variações meteorológicas pode favorecer um cultivo de aveia mais sustentável e com maior segurança alimentar (COELHO et al., 2020; DORNELLES et al., 2021).

A identificação de cultivares mais eficientes e que apresentam melhor resposta à diminuição do uso do fungicida e às variações meteorológicas pode ser realizada pela análise de regressão e pelos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. A análise de regressão é uma técnica estatística capaz de evidenciar a tendência do comportamento de dados, auxiliar na estimação de taxas que representam a dependência entre a variável resposta em função da variável explicativa (MAULUD; ABDULAZEEZ, 2020; BAZDARIC et al., 2021). A análise da adaptabilidade e estabilidade de plantas possibilita a identificação de genótipos que sofrem menor influência das variações que o ambiente e o manejo podem apresentar (DA SILVA et al., 2015; CARNEIRO et al., 2019). Estas características podem ser observadas a partir de modelos matemáticos que podem ser baseados em análise de variância, regressões lineares, regressões bissegmentadas, entre outros (DE CARVALHO

et al., 2014; FREIRIA et al., 2018). O modelo proposto por Eberhart e Russel baseia-se na análise de regressão linear simples, em que os coeficientes de regressão do modelo são estimados a partir de um índice ambiental. Já o modelo proposto por Cruz, Tores e Vencovsky é baseado na análise de regressão bissegmentada, em que é ajustada uma equação de regressão constituída por dois segmentos de reta para cada cultivar, em que o comportamento de cada genótipo é analisado separadamente para ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; DA SILVA et al., 2015). Estes modelos, por muitas vezes utilizados de forma conjunta, vem auxiliando na caracterização de diferentes cultivares e manejos sobre a expressão da produtividade de grãos e outros indicadores pertinentes (CANALES ISLAS et al., 2017).

Desta forma, a utilização da análise de regressão pode evidenciar o efeito do fungicida sobre a área foliar necrosada e a produtividade de grãos na identificação das cultivares de aveia com menor dependência ao uso do agroquímico. A análise das características de adaptabilidade e estabilidade pode identificar cultivares mais ajustadas e estáveis à redução do uso do fungicida e às variações meteorológicas dos anos agrícolas. O objetivo do capítulo é determinar a taxa de produtividade de grãos e da área foliar necrosada em função do número de aplicações de fungicida na identificação de cultivares de aveia com menor dependência ao uso do agroquímico. Além disto, obter os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para reconhecimento de cultivares mais adaptadas e estáveis frente às variações do manejo do fungicida e de ano agrícola

7.2 Materiais e Métodos

No desenvolvimento deste capítulo foram consideradas as avaliações de área foliar necrosada até o momento de 105 DAE e desta forma, foram consideradas as seguintes condições de uso de fungicida: sem fungicida; uma aplicação, realizada aos 60 DAE; duas aplicações, uma aos 60 DAE e outra aos 75 DAE; três aplicações, a primeira aos 60 DAE, a segunda aos 75 DAE e a última aos 90 DAE. Os valores de produtividade de grãos para cada cultivar de aveia também são provenientes destas condições de aplicação do fungicida. O momento de avaliação da área foliar necrosada realizado aos 120 DAE não foi considerado visto que os valores das áreas foliares necrosadas obtidos neste momento não permitem identificar a ação das doenças foliares nem a ação do fungicida, já que a planta se encontra na fase de maturação. Por este motivo, a condição de quatro aplicações de fungicida, realizadas aos 60, 75, 90 e 105 DAE, não foi incluída nesta análise.

Os dados da área foliar necrosada e da produtividade de grãos foram submetidos a análise de variância para verificação dos efeitos principais e de interação entre os fatores cultivares de aveia e condição de aplicação de fungicida em cada ano agrícola (não apresentado). Após foi realizado análise de regressão linear na determinação da taxa entre a área foliar necrosada e o número de

aplicação de fungicida, como também, determinar a relação da produtividade com o manejo do agroquímico.

Na identificação das cultivares que exigem menor utilização do fungicida para redução da área foliar necrosada, os coeficientes lineares (b_0) e os coeficientes angulares (b_1) das equações de regressão obtidas foram classificados como superiores (^{S}) e inferiores (^{I}). Para a área foliar necrosada, o desempenho superior das cultivares para o coeficiente linear ocorre quando há inferioridade a média menos um desvio padrão e o desempenho inferior ocorre quando há superioridade a média mais um desvio padrão. Para o coeficiente angular, o desempenho superior ocorre quando há valores inferiores à média mais um desvio padrão e inferioridade quando ocorrem valores superiores à média menos um desvio padrão.

Para a variável produtividade de grãos, as médias e os coeficientes lineares e angulares das regressões obtidas foram classificadas como superiores (^{S}) e inferiores (^{I}). Para esta variável, desempenho superior é observado quando há valores de médias maiores que a média geral mais um desvio padrão e desempenho inferior quando há valores menores que a média menos um desvio padrão. O mesmo critério é utilizado na classificação das cultivares em relação aos coeficientes lineares e angulares das regressões obtidas para a variável produtividade de grãos. Além disto, para determinação das cultivares que apresentam os melhores resultados em relação à área foliar necrosada e à produtividade de grãos, independente de ano agrícola, foi analisada a quantidade de médias classificadas como superiores para cada cultivar, em que as cultivares que apresentaram a maior quantidade de superioridade foram as destacadas como as melhores cultivares dentre as demais.

Na identificação das cultivares de aveia branca com adaptabilidade e estabilidade frente às alterações de uso do fungicida em cada ano agrícola, os dados da produtividade de grãos foram submetidos ao modelo de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell, em que as médias obtidas para cada cultivar foram submetidas ao teste de Scott e Knott. Por fim, para identificação das cultivares de aveia com adaptabilidade e estabilidade frente às alterações de uso do fungicida e dos anos agrícolas, os dados de produtividade de grãos e da área foliar necrosada foram submetidos ao modelo de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel e ao modelo de Cruz, Torres e Vencovsky. Além disso, foi realizado o agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott, na classificação das cultivares quanto às médias de área foliar necrosada e médias de produtividade de grãos apresentadas nos modelos. Os modelos matemáticos utilizados nas análises dos dados deste capítulo são apresentados no Capítulo 4 deste trabalho. As análises foram realizadas através do software livre GENES (CRUZ, 2013) e considerado 5% de probabilidade de erro para a aplicação dos métodos estatísticos. Também foi utilizado o software Excel do pacote Microsoft Office.

7.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 9, considerando o desempenho das cultivares de aveia nas diferentes condições de uso do fungicida avaliada aos 105 DAE, verifica-se, no ano de 2015, superioridade na ausência de fungicida nas cultivares Estampa, Brisasul, Ouro e Gaudéria. Na condição em que houve uma aplicação de fungicida, segue o destaque para as cultivares Ouro e Gaudéria, além da cultivar Brava que também apresenta reduzida área foliar necrosada. Na condição de duas aplicações não há superioridade entre as cultivares pela média e desvio padrão. No entanto, com três aplicações as cultivares Altiva, Brava e Guará mostraram-se com os melhores desempenhos.

No ano de 2016 verifica-se na condição de ausência de fungicida a superioridade para as cultivares Torena, Chiarasul e Carlasul. Para a condição de uma aplicação aos 60 DAE, as cultivares Torena e Carlasul mantiveram superioridade, comportamento que é mantido nas condições com duas e três aplicações. Vale ressaltar que na condição de três aplicações ainda se destacam as cultivares Altiva, Charrua, Taura, Fapa Slava e Afrodite. Destaca-se que este ano apresentou condições desfavoráveis ao desenvolvimento das doenças, mostrando baixos índices de área foliar necrosada mesmo na condição de ausência de uso de fungicida.

O ano de 2017, um ano restritivo ao desenvolvimento das plantas, na condição de ausência de fungicida todas as cultivares apresentaram forte necrose foliar. Na condição de uma aplicação destacam-se as cultivares Altiva, Corona e Afrodite como aquelas que apresentaram superioridade. As cultivares Corona e Afrodite também se destacam na condição de duas aplicações de fungicida, junto com as cultivares Altiva, Taura e Carlasul. Já na condição de três aplicações as cultivares FAEM 006, Carlasul e Afrodite apresentam superioridade.

No ano de 2018 também se evidencia forte ação das doenças, principalmente na condição sem fungicida em que grande maioria das cultivares apresentou 100% de área foliar necrosada. Na condição com uma aplicação, grande maioria das cultivares apresentou comprometimento total da área foliar, entretanto as cultivares Estampa, Afrodite e Gaudéria apresentaram médias de área foliar um pouco mais reduzidas. Na condição de duas aplicações, as cultivares Altiva, Brava e Fapa Slava apresentam os menores valores de necrose foliar. Na condição de três aplicações as cultivares Brava, Estampa e Chiarasul se destacaram em relação as demais.

Tabela 9: Médias de área foliar necrosada (%) em cultivares de aveia, avaliada aos 105 dias após emergência, nas condições de aplicação de fungicida.

Cultivar	$AFN_{2015(AFD)}$				$AFN_{2016(ADD)}$				$AFN_{2017(AFD)}$			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	69	30	7	2^S	7	6	3	0^S	98	63^S	57	57
Brava	53	14^S	7	2^S	7	7	3	2	99	71	61	58
Guará	76	20	9	0^S	6	6	5	4	98	70	62	55
Estampa	35^S	22	19	10	13	8	7	3	99	69	66	53
Corona	98	90	80	22	9	3	2	2	99	60^S	59	58
Torena	69	41	18	16	4^S	2^S	1^S	0^S	99	67	64	56
Charrua	63	24	10	4	18	4	2	0^S	98	64	60	57
Guria	62	16	8	8	8	3	1^S	1	98	72	71	62
Tarimba	59	28	17	11	20	11	6	3	98	68	67	66
Taura	89	26	17	16	13	5	3	0^S	99	65	57	56
URS 21	65	30	17	16	14	4	2	2	98	84	66	63
Faem 007	88	69	28	24	15	5	4	1	99	74	67	65
Faem 006	97	56	14	14	18	12	3	1	99	73	69	48^S
Chiarasul	96	60	14	12	4^S	3	2	2	98	68	68	66
Carlasul	75	33	16	14	3^S	2^S	1^S	0^S	98	65	53	43^S
Brisasul	37^S	34	10	10	6	3	2	1	99	65	60	59
Barbarasul	86	82	13	4	5	4	2	1	99	68	62	55
Fapa Slava	52	46	24	17	32	8	4	0^S	98	71	68	60
Afrodite	94	33	4	4	5	4	2	0^S	99	58^S	56^S	42^S
Farroupilha	64	28	4	4	8	6	4	3	99	68	63	55
Ouro	30^S	6^S	5	5	10	5	4	3	98	79	72	62
Gaudéria	27^S	15^S	13	8	6	4	2	1	98	75	72	68
Média	67	37	16	10	11	5	3	1	99	69	64	57
DP	22	22	16	7	7	3	2	1	0	6	5	7

Cultivar	$AFN_{2018(AFD)}$				$AFN_{2019(AFD)}$					$AFN_{2020(AFD)}$		
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	100	99	78^S	77	98	89	56^S	56	96	94	90	85
Brava	100	100	75^S	73^S	96	91	68	45^S	93	92	81^S	81^S
Guará	100	100	100	88	100	92	86	55	99	98	98	97
Estampa	100	88^S	84	56^S	98	77^S	49^S	46	99	98	79^S	82^S
Corona	100	100	95	92	97	93	81	55	97	94	90	89
Torena	100	100	98	81	97	88	59^S	55	94	93	92	92
Charrua	100	100	92	88	99	87	79	54	98	93	90	88
Guria	100	100	93	90	99	98	78	74	98	96	93	90
Tarimba	100	100	100	86	95	94	90	68	93	91	90	86
Taura	100	98	93	86	98	89	52^S	39^S	93	93	90	88
URS 21	100	100	98	93	98	89	67	59	99	91	91	90
Faem 007	100	100	99	93	95	85	70	68	98	96	95	95
Faem 006	100	100	91	89	99	88	77	75	100	99	96	92
Chiarasul	100	100	86	72^S	99	88	87	50	99	98	97	96
Carlasul	100	100	82	79	95	85	76	23^S	96	95	90	87
Brisasul	100	100	83	81	90	68^S	66	65	97	95	94	92
Barbarasul	100	100	84	81	97	87	64	61	97	96	92	85
Fapa Slava	100	100	76^S	75	99	98	81	70	96	95	92	81^S
Afrodite	100	92^S	82	81	93	75^S	73	55	95	92	89	85
Farroupilha	100	100	99	98	92	90	73	68	93	92	90	86
Ouro	100	97	84	83	85	70^S	56^S	54	100	96	94	88
Gaudéria	97^S	96^S	92	84	99	80	70	65	97	92	91	90
Média	100	99	89	83	96	86	71	57	97	95	91	88
DP	0	3	8	9	7	8	11	12	5	5	4	4

SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 DAE e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; DP: desvio padrão; ADD: ano desfavorável às doenças foliares; AFD: ano favorável às doenças foliares.

Em 2019 se verifica superioridade da cultivar Ouro na condição sem uso do fungicida. Com uma aplicação as cultivares Estampa, Brisasul, Afrodite e Ouro são as que apresentam os menores valores de necrose foliar. Com duas aplicações, segue o desempenho de superioridade da cultivar Estampa e Ouro, embora destaque também seja visto para as cultivares Altiva, Torena e Taura. Na condição com três aplicações as cultivares Brava, Taura e Carlasul são superiores. De modo geral neste ano, a cultivar Ouro foi a que mais apresentou melhores desempenhos em relação as demais.

Por fim, no ano de 2020, seja sem aplicação ou com uma aplicação de fungicida as cultivares mostraram similaridade de resposta à reação da necrose foliar. Com duas aplicações de fungicida superioridade foi observada para as cultivares Brava e Estampa, sendo que na condição com três aplicações estas cultivares também apresentaram superioridade.

Na Tabela 10, considerando a análise do comportamento da doença em função das aplicações de fungicida, foi verificado em 2015, a superioridade tanto no coeficiente linear como no coeficiente angular para as cultivares Estampa, Brisasul, Ouro e Gaudéria. Estas cultivares apresentam menor área foliar necrosada na ausência de fungicida e menor dependência ao agroquímico. No ano de 2016, destaca-se os reduzidos valores de necrose foliar em virtude das condições de ambiente observadas no ciclo de cultivo da aveia, de modo que as cultivares Torena, Chiarasul e Carlasul mostraram superioridade de coeficiente linear, pela menor área foliar necrosada na ausência de fungicida. No ano de 2017 observa-se elevados valores para os coeficientes lineares, mostrando um ano restritivo e de grande valor de necrose nas diferentes cultivares, porém com a cultivar Altiva com superioridade com o menor valor médio de área foliar necrosada. Além disto, as cultivares Tarimba, Chiarasul e Gaudéria apresentaram superioridade apenas para o coeficiente angular.

No ano de 2018, um ano de forte ação das doenças sobre as plantas, é observado valores similares de área foliar necrosada na ausência de fungicida para todas as cultivares. Em relação à taxa que relaciona o número de aplicações de fungicida com a área foliar, as cultivares que se destacam são Corona, URS 21, Faem 007 e Farroupilha. No ano de 2019, também um ano de forte ação da doença sobre as plantas, se verifica superioridade de coeficiente linear para as cultivares Brisasul e Ouro. Entretanto, nenhuma das cultivares apresentou superioridade para o coeficiente angular das equações de regressão para este ano de cultivo.

Tabela 10: Regressão linear da área foliar necrosada (%) pelo número de aplicação de fungicida em cultivares de aveia, avaliada aos 105 dias após a emergência.

Cultivar	$AFN_{2015(AFD)}$		$AFN_{2016(ADD)}$		$AFN_{2017(AFD)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	60-22,4*x	89	8-2,5*x	94	69^{S}-12,8*x	71
Brava	43-16,0*x	79	8-1,9*x	91	92-13,5*x	84
Guará	62-24,0*x	81	6-0,7x	100	92-13,8*x	88
Estampa	33^{S}-7,8^{S*}x	95	12-3,1*x	94	93-14,2*x	87
Corona	100^{I}-23,6*x	80	7-2,2*x	75	88-12,4*x	65
Torena	63-18,2*x	90	4^{S}-1,2*x	92	91-13,3*x	82
Charrua	54-19,1*x	86	15-5,7^{I*}x	78	89-12,7*x	72
Guria	49-17,2*x	72	7-2,4*x	73	92-10,8*x	82
Tarimba	52-15,5*x	89	19^{I}-5,7^{I*}x	94	90-10,0^{S*}x	66
Taura	71-22,7*x	71	12-4,3*x	90	90-13,7*x	77
URS 21	55-15,6*x	80	11-3,8*x	77	96^{I}-14,2*x	93
Faem 007	87^{I}-23,3*x	92	13-4,2*x	84	92-10,8*x	80
Faem 006	89^{I}-29,1^{I*}x	89	17^{I}-5,8^{I*}x	95	95-15,7^{I*}x	94
Chiarasul	90^{I}-29,9^{I*}x	91	4^{S}-0,9*x	97	90-9,6^{S*}x	64
Carlasul	64-19,8*x	83	3^{S}-0,8*x	96	91-17,6^{I*}x	90
Brisasul	38^{S}-10,4^{S*}x	84	5-1,6*x	87	90-13,4*x	77
Barbarasul	94^{I}-31,9^{I*}x	86	5-1,3*x	99	91-13,7*x	84
Fapa Slava	54-12,9*x	95	26^{I}-10,1^{I*}x	80	92-11,8*x	82
Afrodite	79-30,0^{I*}x	83	5-1,5*x	97	89-17,3^{I*}x	81
Farroupilha	56-20,3*x	85	8-1,5*x	97	92-13,6*x	85
Ouro	22^{S}-7,4^{S*}x	63	9-2,0*x	85	95-11,7*x	94
Gaudéria	24^{S}-5,7^{S*}x	91	6-1,5*x	92	92-9,3^{S*}x	78
Média	61-19,2x		10-2,9x		91-12,9x	
DP	23+7,5x		6+2,3x		5+2,2x	

Cultivar	$AFN_{2018(AFD)}$		$AFN_{2019(AFD)}$		$AFN_{2020(AFD)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	100^{I}-8,7*x	83	99-15,9*x	87	97-3,8x	98
Brava	100^{I}-10,4^{I*}x	83	100^{I}-17,4*x	94	93-4,5^{I}x	84
Guará	100^{I}-3,5x	60	100-14,0x	84	99^{I}-0,5^{S}x	97
Estampa	100^{I}-13,4^{I*}x	89	95-18,1*x	92	99^{I}-6,7^{I}x	74
Corona	100^{I}-2,6^{S*}x	89	100^{I}-13,9*x	88	97-2,7x	94
Torena	100^{I}-5,6x	65	98-15,4*x	92	93-0,4^{S}x	70
Charrua	100^{I}-4,1*x	89	100^{I}-14,2*x	93	98-3,4x	94
Guria	100^{I}-3,4x	88	100^{I}-9,23x	87	98-2,7x	98
Tarimba	100^{I}-4,0x	60	100^{I}-8,6x	76	93-2,0x	91
Taura	100^{I}-4,4x	92	100^{I}-21,3*x	93	93-1,5x	89
URS 21	100^{I}-2,0^{S*}x	83	99-14,1*x	96	97-2,7*x	72
Faem 007	100^{I}-1,9^{S*}x	68	94-9,7x	93	98-1,1^{S}x	89
Faem 006	100^{I}-3,9*x	83	97-8,3*x	94	100^{I}-2,5x	92
Chiarasul	100^{I}-9,6^{I}x	88	100^{I}-14,6*x	79	99^{I}-0,8^{S}x	99
Carlasul	100^{I}-8,1*x	85	100^{I}-22,4*x	81	97-3,4x	96
Brisasul	100^{I}-7,2*x	85	84^{S}-78x	69	97-1,6x	97
Barbarasul	100^{I}-7,1*x	86	97-13,0*x	93	99^{I}-4,1^{I}x	88
Fapa Slava	100^{I}-9,9^{I*}x	81	100^{I}-10,3*x	91	96-1,7x	88
Afrodite	99^{S}-6,5*x	91	91^{S}-11,4*x	92	96-3,6x	98
Farroupilha	100^{I}-0,66^{S}x	83	94-8,7*x	90	93-2,1x	95
Ouro	100^{I}-6,1x	88	82^{S}-10,7*x	92	100^{I}-3,6*x	95
Gaudéria	98^{S}-4,2*x	92	95-11,2x	93	96-2,1x	87
Média	99,9-5,7x		97-13,2x		97-2,6x	
DP	1+3,1x		7+4,1x		2+1,5x	

R^2: coeficiente de determinação (%); *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ^{S}: valor inferior à média mais um desvio padrão; ^{I}: valor superior à média menos um desvio padrão; DP: desvio padrão; ADD: ano desfavorável às doenças foliares; AFD: ano favorável às doenças foliares.

Por fim, no ano de 2020, também de grande expressão da necrose foliar, destacam-se, apesar dos altos valores dos coeficientes lineares, as cultivares Brava, Torena, Tarimba, Taura e Farroupilha, com destaque para a cultivar Torena que apresentou superioridade para o coeficiente angular. Outras cultivares como Guará, FAEM 007 e Chiarasul apresentaram superioridade somente para o coeficiente angular. Vale ressaltar que em 2015 foi o único ano agrícola que permitiu a evidenciação de uma maior quantidade de cultivares com superioridade simultânea dos coeficientes lineares e angulares das equações de regressão linear, comprovando ser o melhor ano de análise desta variável.

Na Tabela 11, considerando a análise de produtividade de grãos das diferentes cultivares em função das condições de aplicação de fungicida, no ano de 2015 se percebe superioridade nas cultivares Altiva e Guria na ausência de fungicida. Com uma aplicação de fungicida realizada aos 60 DAE as cultivares Altiva e Guria continuam apresentando superioridade, além da cultivar Charrua, que também apresentou superioridade de produtividade nesta condição. Com duas aplicações as cultivares Altiva e Guria apresentam superioridade novamente, além das cultivares Carlasul e Brisasul e Barbarasul. No uso de três aplicações, também a cultivar Altiva apresenta superioridade da média de produtividade, juntamente com as cultivares Brava e Chiarasul. Destaca-se que independente das condições de aplicação do fungicida a superioridade da cultivar Altiva é confirmada neste ano de cultivo, que contribui na avaliação da variabilidade das cultivares.

No ano de 2016, restritivo ao desenvolvimento das doenças foliares, se verifica que na ausência de fungicida as cultivares Corona, Faem 007, Carlasul e Afrodite mostram-se superiores, destacando os altos valores de produtividade de grãos obtidos na maioria das cultivares. Na condição de uma aplicação de fungicida segue a superioridade das cultivares Corona, Faem 007 e Afrodite. Com duas aplicações estas mesmas cultivares apresentam superioridade de produtividade em relação as demais. Com três aplicações de fungicida estas mesmas cultivares seguem mostrando superioridade. Portanto, embora as condições de ano agrícola não sejam favoráveis à necrose foliar, mostra-se que estas cultivares são altamente responsivas às melhorias das condições de ambiente para o cultivo da aveia, superando inclusive cultivares que mostram maior resistência genética, como mostrado no ano de 2015 na cultivar Altiva.

Tabela 11: Produtividade de grãos em cultivares de aveia pelas condições de uso de fungicida.

Cultivar	$PG_{2015(AAC)}$				$PG_{2016(AFC)}$				$PG_{2017(ADC)}$			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	2321^S	2696^S	3487^S	4236^S	2893	3478	4423	4467	1103	1658	1909	2109
Brava	1230	2393	3191	3993^S	3298	3795	4112	4225	1024	1539^I	1882	2135
Guará	1486	2083	3166	3453	3553	4067	4253	4487	1138	1736	2054	2348
Estampa	1555	2393	2822	3302	3266	3625	3671^I	3982	790^I	1413^I	1592^I	1720^I
Corona	804	2030	2824	3333	3780^S	4812^S	4983^S	5033^S	976	2093	2424^S	2499
Torena	1348	2377	2783	2892^I	2861	3462	3886	4271	859^I	1609	2217	2352
Charrua	1616	2662^S	3078	3107	3584	4048	4131	4152	983	1633	2083	2102
Guria	1949^S	2681^S	3413	3517	2311^I	3296^I	3773	4067	1150	1713	2119	2594
Tarimba	1386	1646^I	2672^I	3160	3350	3934	4249	4661	910^I	1303^I	1541^I	2119
Taura	863	1813	2152^I	2775^I	2231^I	3366^I	4145	4804	1069	1862	1974	2310
URS 21	1552	2192	3071	3104	3312	3569	3662^I	3755^I	1025	1921	1948	2156
Faem 007	579^I	1194^I	2922	2923^I	3752^S	4233^S	4861^S	4924^S	1436^S	2399^S	2445^S	2501
Faem 006	749^I	2035	3264	3660	3461	3929	4134	4543	1340	2126	2444^S	2586
Chiarasul	727^I	1304	3353	3923^S	3036	3783	4060	4009	1380^S	1911	2228	2432
Carlasul	1352	2166	3414	3514	3802^S	4127	4128	4182	1620^S	2469^S	2857^S	3154
Brisasul	1066	2237	3516^S	3700	3362	3827	4172	4975^S	1031	1683	2058	2106
Barbarasul	680^I	1854	3580^S	3739	3358	4171	4453	4833	1220	1732	1802^I	2139
Fapa Slava	1189	1719	3096	3159	2081^I	3373^I	3562^I	3621^I	954	1892	2014	2416
Afrodite	566^I	1527^I	2802	3382	4096^S	4349^S	4687^S	5195^S	1199	1938	2404	2553
Farroupilha	1324	2448	3215	3463	3354	3833	4104	4416	1459^S	2394^S	2443^S	2543
Ouro	1386	2290	2791	3378	2736	3131^I	3413^I	3641^I	1237	1900	2110	2362
Gaudéria	1308	2163	2601^I	3222	3055	3269^I	3552^I	3614^I	1317	1901	1968	2072
Média	1229	2087	3055	3406	3206	3794	4110	4357	1146	1856	2114	2332
DP	448	422	354	368	522	413	413	481	213	304	306	287

Cultivar	$PG_{2018(ADC)}$				$PG_{2019(ADC)}$				$PG_{2020(ADC)}$			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	1535^S	1959	2962^S	3077	1097^S	1409	1892	2356	1143	1228	1476	1484
Brava	1477^S	2284^S	3056^S	2933	825	1550	2168	2368	1046	1254	1468	1487
Guará	1310^S	2000	2310	3012	746	1186	1963	1903^I	728^I	1403	1440	1465
Estampa	1173	2022	2426	3171	719	1712^S	2034	2130	1068	1343	1363	1708^S
Corona	1153	1668	2150	2964	702	1142^I	2018	2097	1025	1381	1308^I	1798^S
Torena	1087	1519	2832^S	3039	556	1308	2133	2278	1376^S	1477^S	1674^S	1607
Charrua	741	1866	2390	3072	1026^S	1553	2114	2144	1166	1330	1409	1405
Guria	670	1774	2219	2573^I	507	1061^I	1719^I	2045	1088	1511^S	1707^S	1729^S
Tarimba	635^I	2588^S	2873^S	3159	655	1507	2145	2557^S	568^I	971^I	1414	1489
Taura	1078	1863	2856^S	3354^S	645	1468	2043	2232	765	870^I	1275^I	1307^I
URS 21	1099	2057	2144	2456^I	672	1248	1870	2239	753^I	1228	1404	1427
Faem 007	716	1523	2224	2926	678	1261	1955	1994^I	801	1225	1460	1537
Faem 006	773	2036	2438	2732	867	1586	1744^I	2038	990	1121	1414	1456
Chiarasul	803	1369^I	2445	2986	540^I	1527	2273^S	2358	766	1199	1398	1408
Carlasul	767	1626	2175	2667	572	1320	2114	2197	713^I	789^I	1267^I	1311^I
Brisasul	676	2016	2261	2652	594	1376	1803^I	2194	1009	1367	1478	1428
Barbarasul	729	1626	2446	3125	555	1300	2114	2260	771	1154	1270^I	1207^I
Fapa Slava	740	1567	2394	2992	536	1130^I	2173	2266	857	1150	1420	1225^I
Afrodite	690	1861	2484	3441^S	774	1605	2014	2842^S	1103	1516^S	1540	1628
Farroupilha	691	1676	2268	2733	747	1283	1713^I	2018	1309^S	1544^S	1645^S	1791^S
Ouro	797	1218^I	1606^I	2015^I	1031^S	1488	2330	2912^S	1281^S	1410	1467	1655
Gaudéria	975	1236^I	2329	3136	1140^S	2240^S	2282^S	2578^S	1267^S	1398	1625^S	1635
Média	923	1789	2422	2919	736	1421	2051	2273	982	1267	1451	1509
DP	274	331	330	317	190	252	208	258	227	203	125	170

PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 DAE e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; ^{S}: valor superior à média mais um desvio padrão; ^{I}: valor inferior à média menos um desvio padrão; DP: desvio padrão; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

No ano de 2017, restrito ao cultivo da aveia pelas condições ambientais, a superioridade foi observada nas cultivares Faem 007, Chiarasul, Carlasul e Farroupilha. Destaca-se que na condição de uma aplicação de fungicida, também é observada superioridade para as cultivares Faem 007, Carlasul e Farroupilha. Na condição com duas aplicações estas mesmas cultivares mantém destaque de superioridade, além das cultivares Corona e Faem 006. Na condição com três aplicações de fungicida nenhuma das cultivares mostrou superioridade em relação à produtividade.

No ano de 2018, de forte ação das doenças foliares, destaca-se a superioridade das cultivares Altiva, Brava e Guará na condição sem uso do fungicida. Com uma aplicação de fungicida, a superioridade da cultivar Brava foi confirmada, juntamente com a cultivar Tarimba. Com duas aplicações de fungicida, a cultivar Altiva volta a apresentar superioridade em relação à produtividade, juntamente com as cultivares Brava, Torena, Tarimba e Taura. Com três aplicações de fungicida, apenas as cultivares Taura e Afrodite foram superiores em relação às demais. Destaca-se neste ano agrícola que a cultivar Brava mostrou superioridade na maioria das condições de uso do agroquímico.

No ano de 2019, sem uso de fungicida as cultivares Altiva, Charrua, Ouro e Gaudéria foram as superiores em comparação às demais, com valores médios que superaram a média mais um desvio padrão. Com uma aplicação de fungicida apenas as cultivares Estampa e Gaudéria mostraram comportamento superior. Com duas aplicações a superioridade foi observada nas cultivares Chiarasul e Gaudéria. Por fim, com três aplicações de fungicida as cultivares Tarimba, Afrodite, Ouro e Gaudéria mostraram superioridade. Destaca-se que neste ano agrícola, em todas as condições de uso do fungicida, a cultivar Gaudéria se mostrou superior em relação as demais.

No ano de 2020, na ausência de fungicida, somente as cultivares Torena, Farroupilha, Ouro e Gaudéria foram superiores. Na condição de uma aplicação aos 60 DAE destacam-se as cultivares Torena, Guria, Afrodite e Farroupilha. Com duas aplicações de fungicida as cultivares que se destacaram foram Torena, Guria, Farroupilha e Gaudéria. Por fim, na condição de três aplicações de fungicida as cultivares Estampa, Corona, Guria e Farroupilha se destacam entre as demais cultivares. Neste ano agrícola, destaque é dado a cultivar Farroupilha que apresentou superioridade em todas as condições de uso do agroquímico.

De modo geral, há uma forte variação dos anos agrícolas em relação a expressão da produtividade de grãos, como também foi observado na expressão da área foliar necrosada. Destaca-se que independente de ano agrícola, a condição com duas aplicações de fungicida, realizadas aos 60 e 75 DAE, mostra similaridade com a condição de três aplicações de fungicida, realizadas aos 60, 75 e 90 DAE, uma condição que reporta a possibilidade de maior amplitude entre a última aplicação do fungicida com a colheita de grãos, influenciando na maior segurança alimentar de um produto derivado da aveia.

Na Tabela 12, analisando o comportamento de expressão da produtividade de grãos em função do número de aplicações de fungicida, se verifica superioridade do coeficiente linear, no ano de 2015, nas cultivares Altiva e Guria, indicando que na ausência de fungicida já há uma média de produtividade superior à 2000 kg ha^{-1}. Em relação ao coeficiente angular, as cultivares Faem 006, Chiarasul, Barbarasul e Afrodite se mostram com superioridade da taxa de expressão da produtividade a cada aplicação de fungicida.

Em 2016, destaca-se a superioridade das cultivares Corona, Faem 007, Carlasul e Afrodite para o coeficiente linear. A superioridade para o coeficiente angular é observada para as cultivares Altiva, Guria e Taura. No ano de 2017, desfavorável ao cultivo da aveia, a superioridade do coeficiente linear foi observada para as cultivares Faem 007, Carlasul e Farroupilha. Além disto, maiores coeficientes angulares foram observados para as cultivares Corona, Torena, Guria, Carlasul, Fapa Slava e Afrodite, mostrando maior resposta na taxa de produtividade em função do manejo do fungicida.

No ano de 2018, de forte ação das doenças sobre o cultivo da aveia, se verifica superioridade de produtividade em relação ao coeficiente linear para as cultivares Altiva, Brava, Guará e URS 21. Além disto, a superioridade de coeficiente angular foi detectada nas cultivares Barbarasul, Afrodite e Ouro. No ano de 2019, também a cultivar Altiva apresentou superioridade para o coeficiente linear da equação que representa a produtividade de grãos em função do número de aplicações de fungicida, juntamente com as cultivares Charrua e Gaudéria. Neste mesmo ano agrícola a superioridade de coeficiente angular é observada para as cultivares Tarimba, Chiarasul, Fapa Slava, Afrodite e Ouro.

Para o ano de 2020, também de forte restrição para o desenvolvimento das plantas, se verifica superioridade para o coeficiente linear para as cultivares Farroupilha, Ouro e Gaudéria. As respostas mais efetivas para o uso do fungicida dada pelo coeficiente angular é observada para as cultivares Guará, Corona, Faem 007 e Carlasul.

Tabela 12: Regressão linear da produtividade de grãos de aveia pelo número de aplicação de fungicida.

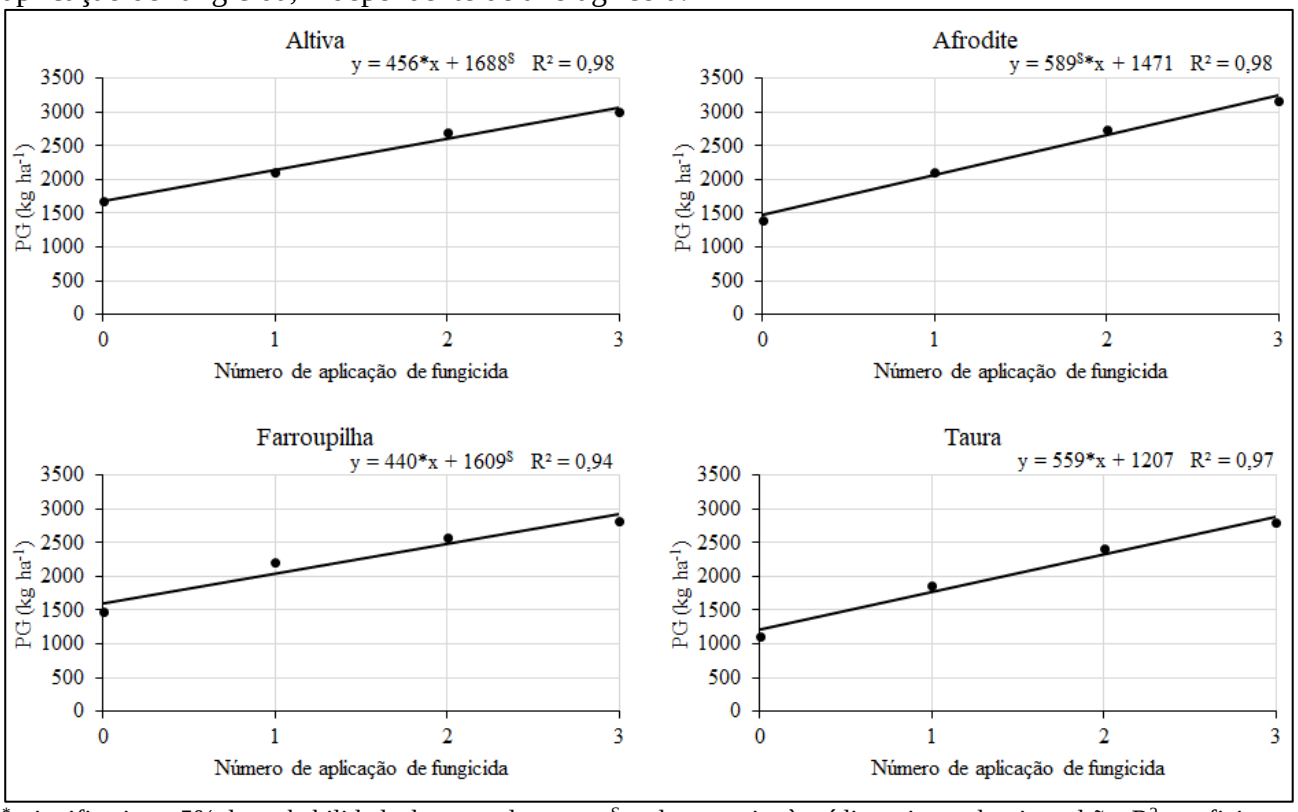
Cultivar	$PG_{2015(AAC)}$		$PG_{2016(AFC)}$		$PG_{2017(ADC)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	$2204^{S}+653^{*}x$	97	$2964+566^{S*}x$	91	$1204+326^{*}x$	93
Brava	$1338+908^{*}x$	99	$3393+309^{*}x$	92	$1093+367^{*}x$	97
Guará	$1499+698^{*}x$	95	$3641+298^{*}x$	94	$1226+394^{*}x$	96
Estampa	$1667+567^{*}x$	97	$3307+219^{*}x$	93	$933^{I}+296^{I*}x$	86
Corona	$990+838^{*}x$	96	$4062^{S}+383x$	74	$1262+490^{S*}x$	80
Torena	$1594+503^{I*}x$	85	$2922+465^{*}x$	98	$996^{I}+508^{S*}x$	92
Charrua	$1882^{S}+488^{I*}x$	82	$3710+178^{I}x$	74	$1129+380^{*}x$	87
Guria	$2075^{S}+543^{I*}x$	92	$2500^{I}+574^{S*}x$	92	$1183+474^{S*}x$	99
Tarimba	$1263+634^{*}x$	95	$3411+424^{*}x$	98	$888^{I}+386^{*}x$	97
Taura	$989+607^{*}x$	96	$2361^{I}+849^{S*}x$	98	$1228+383^{*}x$	88
URS 21	$1649+553^{I*}x$	91	$3361+142^{I}x$	92	$1249+341^{*}x$	77
Faem 007	$590^{I}+876^{*}x$	88	$3821^{S}+414^{*}x$	92	$1709^{S}+324^{*}x$	67
Faem 006	$932+996^{S*}x$	95	$3499+345^{*}x$	98	$1515+405^{*}x$	88
Chiarasul	$581^{I}+1163^{S*}x$	93	$3242+319^{*}x$	76	$1466+347^{*}x$	95
Carlasul	$1450+773^{*}x$	92	$3888^{S}+114^{I}x$	71	$1776^{S}+499^{S*}x$	93
Brisasul	$1252+918^{*}x$	93	$3306+518^{*}x$	96	$1179+359^{*}x$	87
Barbarasul	$827^{I}+1090^{S*}x$	92	$3497+470^{*}x$	94	$1299+282^{I*}x$	92
Fapa Slava	$1197+728^{*}x$	90	$2437^{I}+480^{*}x$	72	$1142+451^{S*}x$	88
Afrodite	$610^{I}+972^{S*}x$	98	$4036^{S}+363^{*}x$	97	$1344+452^{S*}x$	92
Farroupilha	$1534+718^{*}x$	93	$3408+345^{*}x$	98	$1714^{S}+330^{*}x$	71
Ouro	$1489+647^{*}x$	98	$2780+299^{*}x$	98	$1364+358^{*}x$	92
Gaudéria	$1396+618^{*}x$	98	$3064+202^{I*}x$	94	$1465+233^{I*}x$	78
Média	1319+750x		3255+377x		1289+378x	
DP	453+194x		483+168x		241+70x	

Cultivar	$PG_{2018(ADC)}$		$PG_{2019(ADC)}$		$PG_{2020(ADC)}$	
	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2	$b_0 + b_1x$	R^2
Altiva	$1537^{S}+563^{*}x$	92	$1030^{S}+456^{*}x$	98	$1185+170^{*}x$	94
Brava	$1666^{S}+513^{I*}x$	83	$940+524^{*}x$	94	$1065+183^{*}x$	98
Guará	$1345^{S}+541^{*}x$	97	$812+424^{I*}x$	87	$905+274^{S*}x$	78
Estampa	$1238+639^{*}x$	98	$965+455^{*}x$	83	$1079+193^{*}x$	91
Corona	$1096+591^{*}x$	98	$730+506^{*}x$	92	$976+260^{S*}x$	97
Torena	$1044+716^{*}x$	92	$669+599^{*}x$	93	$1203+175^{*}x$	93
Charrua	$889+751^{*}x$	97	$1122^{S}+391^{I*}x$	90	$1085+160^{*}x$	92
Guria	$885+615^{*}x$	92	$542^{I}+527^{*}x$	98	$1190+211^{*}x$	84
Tarimba	$1134+785^{*}x$	78	$764+634^{S*}x$	97	$648^{I}+240^{*}x$	91
Taura	$1115+781^{*}x$	98	$796+533^{*}x$	93	$749^{I}+203^{*}x$	89
URS 21	$1315^{S}+415^{*}x$	84	$708+532^{*}x$	98	$862+209^{*}x$	84
Faem 007	$747^{I}+733^{*}x$	99	$775+464^{*}x$	91	$889+244^{S*}x$	90
Faem 006	$1053+627^{*}x$	88	$1008+366^{*}x$	90	$978+155^{*}x$	99
Chiarasul	$757+762^{*}x$	98	$744+620^{S*}x$	90	$873+212^{*}x$	83
Carlasul	$871+624^{*}x$	98	$700+567^{*}x$	92	$632^{I}+297^{S*}x$	93
Brisasul	$975+617^{*}x$	86	$707+522^{*}x$	96	$1075+196^{*}x$	92
Barbarasul	$780+800^{S*}x$	99	$667+592^{*}x$	93	$846+219^{*}x$	92
Fapa Slava	$785+758^{*}x$	99	$591^{I}+623^{S*}x$	92	$953+133^{I*}x$	84
Afrodite	$787+887^{S*}x$	98	$866+711^{S*}x$	96	$1180+150^{I*}x$	83
Farroupilha	$834+672^{*}x$	96	$803+424^{I*}x$	98	$1357^{S}+154^{*}x$	94
Ouro	$803+404^{S*}x$	99	$966+648^{S*}x$	98	$1240^{S}+131^{I*}x$	97
Gaudéria	$782+757^{*}x$	95	$1406^{S}+435^{*}x$	79	$1304^{S}+123^{I*}x$	90
Média	1020+661x		833+524x		1010+196x	
DP	264+125x		197+93x		200+47x	

PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); ^{S}: valor superior à média mais um desvio padrão; ^{I}: valor inferior à média menos um desvio padrão; R^2: coeficiente de determinação (%); *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; DP: desvio padrão; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Para uma análise geral, na Figura 9 são apresentadas as regressões lineares para a produtividade de grãos, independente de ano agrícola, para as cultivares que apresentaram somente superioridade nos coeficientes das equações obtidas. O comportamento dessas cultivares é comparado ao comportamento da cultivar Taura, uma das cultivares mais semeadas no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 9: Regressão linear da produtividade de grãos em cultivares de aveia em função do número de aplicação de fungicida, independente de ano agrícola.



*: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; S: valor superior à média mais um desvio padrão; R^2: coeficiente de determinação; Fonte: próprio autor (2022)

A cultivares Altiva, Afrodite e Farroupilha foram as únicas cultivares que apresentaram coeficientes de regressão em que pelo menos um foi classificado com comportamento superior em relação à média geral mais um desvio padrão. Destacam-se as cultivares Altiva e Farroupilha com os maiores valores de coeficiente linear, o que indica que na ausência de fungicida estas cultivares possuem maior expressão da produtividade em relação às demais, principalmente em relação à cultivar Taura, cultivar tida como referência por ser uma das mais semeadas no estado. A cultivar Afrodite apresenta um coeficiente angular mais elevado em relação às demais, indicando uma maior resposta ao manejo do fungicida, fato observado também para a cultivar Taura.

Na Tabela 13 são apresentadas as quantidades de vezes que cada cultivar apresentou comportamento superior em relação às médias de área foliar necrosada e produtividade de grãos nas diferentes condições de uso do fungicida em cada ano agrícola. Para a área foliar necrosada, as cultivares que apresentam o maior número de superioridade são as cultivares Estampa e Carlasul,

seguidas pelas cultivares Altiva e Afrodite. Destaca-se que estas cultivares demonstraram menores valores de área foliar necrosada em relação à média menos um desvio padrão, indicando que possivelmente possuem maior resistência aos patógenos causadores da necrose foliar.

Tabela 13: Frequência de comportamento superior de médias de área foliar necrosada e produtividade de grãos em cultivares de aveia nos anos de cultivo.

Cultivar	AFN/Superioridade						Σ	PG/Superioridade						Σ	Total
	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Altiva	1	1	2	1	1	0	6	4	0	0	2	1	0	7	13
Brava	2	0	0	2	1	2	7	1	0	0	3	0	0	4	11
Guará	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2
Estampa	1	0	0	2	2	2	7	0	0	0	0	1	1	2	9
Corona	0	0	2	0	0	0	2	0	4	1	0	0	1	6	8
Torena	0	4	0	0	1	0	5	0	0	0	1	0	3	4	9
Charrua	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	3
Guria	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	6	7
Tarimba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	3
Taura	0	1	1	0	2	0	4	0	0	0	2	0	0	2	6
URS 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Faem 007	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	7	7
Faem 006	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2
Chiarasul	0	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	1	0	3	5
Carlasul	0	4	2	0	1	0	7	1	1	3	0	0	0	5	12
Brisasul	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	0	2	4
Barbarasul	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Fapa Slava	0	1	0	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Afrodite	0	1	3	1	1	0	6	0	4	0	1	1	1	7	13
Farroupilha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4	7	7
Ouro	2	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0	1	1	2	7
Gaudéria	2	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	4	2	6	10

AFN: área foliar necrosada (%); PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); Σ: somatório do número de ocorrências de superioridade; Total: somatório total do número de ocorrência de superioridade na área foliar necrosada e da produtividade de grãos.

Para a variável produtividade de grãos, as cultivares que apresentaram uma maior quantidade de médias maiores que a média geral mais um desvio padrão foram a Altiva, Faem 007, Afrodite e Farroupilha, seguidas pelas cultivares Corona, Guria e Gaudéria. Destaca-se que as cultivares Faem 007 e Farroupilha não apresentaram comportamento superior para a expressão da área foliar necrosada, indicando que estas cultivares podem possuir mecanismos que possibilitam a alta produtividade mesmo tendo boa parte da área foliar comprometida pelas doenças.

De modo geral, as cultivares que se destacam com maior número de medias superiores em relação à área foliar necrosada e à produtividade de grãos são as cultivares Altiva e Afrodite, seguidas pelas cultivares Carlasul, Brava e Gaudéria.

A utilização de fungicida no cultivo da aveia é uma técnica de manejo que pode ocorrer de maneira frequente, visto que a cultura é suscetível ao ataque de doenças foliares. Além de reduzir os danos causados às folhas, o manejo do fungicida pode garantir a obtenção de altas produtividades de grãos ao produtor (MAY et al., 2014; MAY; BRANDT; HUTT-TAYLOR, 2020). May et al. (2014) observaram que o fungicida pode aumentar, significativamente, a produtiva de grãos em algumas cultivares de aveia. Dietz, Schierenbeck e Simón (2019) verificaram a ação do fungicida em diminuir os índices de severidade das principais doenças foliares da aveia. Dornelles et al. (2020) comentam a forte influência do fungicida em incrementar a produtividade de grãos e controlar a necrose foliar causada pelas doenças fúngicas na aveia.

A ação de diferentes manejos pode ser verificada pela análise de regressão, que permite estabelecer uma equação matemática que evidencia a relação existente entre o manejo utilizado e a variável de interesse. Mantai et al. (2015), utilizando regressões lineares, estimaram a taxa de produtividade de biomassa dia^{-1} em aveia em diferentes condições de uso de nitrogênio. De Mamann et al. (2017), mostraram a possibilidade de uso de regressões para representar a estimativa de produtividade de grãos de trigo em função do uso nitrogênio e hidrogel. Hocaoglu e Akcura (2020) também demonstraram a relação da produtividade de grãos de aveia em função do manejo do nitrogênio, utilizando regressões lineares. Dornelles et al. (2021), observaram pela análise de regressão a relação e influência do número de aplicações de fungicida sobre a progressão de doenças foliares e produtividade da aveia em distintos anos agrícolas.

Na Tabela 14, dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, considerando o índice ambiental a partir das condições de uso de fungicida, no ano de 2015, maior média de produtividade foi observado para a cultivar Altiva, que também mostrou adaptabilidade especifica para ambiente desfavorável (menor uso de fungicida), embora mostre instabilidade de expressão da produtividade. Destaca-se nesta cultivar que há realmente uma condição de possibilidade de recomendação em condições mais restritivas à utilização de fungicida, mostrando uma possibilidade de uso para cultivos mais sustentáveis. No ano de 2016, favorável ao desenvolvimento das plantas e restritivo ao desenvolvimento das doenças, observa-se superioridade de produtividade de grãos para as cultivares Corona, Faem 007 e Afrodite. Estas cultivares evidenciam adaptabilidade ampla com estabilidade frente às condições de uso de fungicida.

Tabela 14: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos em cultivares de aveia em função das condições de uso do fungicida nos anos de cultivo.

Cultivar	$PG_{2015(AAC)}$			$PG_{2016(AFC)}$			$PG_{2017(ADC)}$		
	b_0	b_1	σ^2	b_0	b_1	σ^2	b_0	b_1	σ^2
				(SF+CF_1+CF_2+CF_3+CF_4)					
Altiva	3184a	0,83*	70303*	3815c	1,48*	38445	1694d	0,84	-14972
Brava	2701c	1,18*	34609*	3857b	0,83	-20873	1644d	0,22	-8299
Guará	2547d	0,93	754	4090b	0,79	-21994	1818d	0,99	-10263
Estampa	2518d	0,74*	13784	3636c	0,57*	-15113	1378e	0,79	-14111
Corona	2247e	1,11*	14232	4652a	1,12	30361	1997c	1,34*	3765
Torena	2350e	0,68*	46592*	3620c	1,20	-17733	1759d	1,30*	3373
Charrua	2615c	0,67*	59734*	3978b	0,50*	-12523	1700d	1,00	-3039
Guria	2890b	0,73*	-3010	3361d	1,54*	-19648	1894d	1,15	17292
Tarimba	2216e	0,82*	53411*	4048b	1,10	-17164	1468e	0,90	38420*
Taura	1900g	0,78*	43740*	3636c	2,21*	-11457	1803d	1,01	-9487
URS 21	2480d	0,75*	2228	3574c	0,38*	-22781	1762d	0,95	2327
Faem 007	1904g	1,19*	86481*	4442a	1,09	-841	2195b	0,93	19550
Faem 006	2427d	1,33*	-4859	4016b	0,88	-13365	2123b	1,07	-13394
Chiarasul	2326e	1,54*	147003*	3721c	0,90	7917	1987c	0,88	-12235
Carlasul	2611c	1,05	9829	4059b	0,32*	-17384	2524a	1,28*	-14085
Brisasul	2629c	1,24*	7060	4083b	1,28	57672*	1719d	0,95	-8495
Barbarasul	2462d	1,47*	25143*	4203b	1,25	-19696	1723d	0,72*	-7197
Fapa Slava	2290e	0,98	40817*	3159d	1,37*	65179*	1819d	1,19	-6078
Afrodite	2069f	1,28*	-2148	4581a	0,89	18127	2023c	1,17	-8664
Farroupilha	2612c	0,96	14507	3926b	0,90	-20477	2209b	0,94	11365
Ouro	2461d	0,84*	20956	3230d	0,78	-21548	1902d	0,93	-15066
Gaudéria	2323e	080*	27863*	3367d	0,52*	-19526	1814d	0,64*	-9868

Cultivar	$PG_{2018(ADC)}$			$PG_{2019(ADC)}$			$PG_{2020(ADC)}$		
	b_0	b_1	σ^2	b_0	b_1	σ^2	b_0	b_1	σ^2
				(SF+CF_1+CF_2+CF_3+CF_4)					
Altiva	2382a	0,84*	38610	1713b	0,81*	29513	1441a	0,87	-8560
Brava	2437a	0,80*	50936*	1327b	1,00	-21718	1338b	0,91	-7630
Guará	2157b	0,80*	2356	1449c	0,82	-625	1317b	1,48*	12147
Estampa	2197b	0,95	-2079	1648c	0,89	22153	1370b	0,94	6194
Corona	1983c	0,86	28698	1489c	0,96	-1200	1368b	1,24	11730
Torena	2119b	1,07	91044*	1568c	1,15	-18304	1466a	0,89	-6254
Charrua	2017c	1,13	-11240	1709b	0,76*	-17114	1326b	0,82	-7047
Guria	1808c	0,94	4173	1333c	0,98	-15582	1508a	1,12	-3409
Tarimba	2313a	1,24*	224354*	1715b	1,19*	-16682	1009d	1,25	-7311
Taura	2287a	1,17*	-2595	1597c	1,02	-17660	1054d	1,00	4975
URS 21	1939c	0,64*	26009	1507c	0,99	-14223	1177c	1,11	-1132
Faem 007	1847c	1,09	-10531	1472c	0,89	-14840	1256c	1,27	-6770
Faem 006	1995c	0,97	36275	1558c	0,69*	1183	1211c	0,75	-4632
Chiarasul	1900c	1,13	30893	1674b	1,20*	-6595	1192c	1,13	-2276
Carlasul	1808c	0,94	-21198	1550c	1,09	-15221	1078d	1,41*	27783*
Brisasul	1901c	0,96	56415*	1491c	0,98	-10926	1370b	1,01	-6929
Barbarasul	1981c	1,20*	-14681	1557c	1,13	-18557	1175c	1,13	-7684
Fapa Slava	1923c	1,13	-14395	1526c	1,19*	2219	1154c	0,71	-6543
Afrodite	2119b	1,13*	2026	1933a	1,34*	-19748	1405b	0,80	-5656
Farroupilha	1842c	1,02	-18551	1440c	0,79*	-18334	1589a	0,79	-8061
Ouro	1409d	0,60*	-16327	1940a	1,18*	36554	1437a	0,63*	-4666
Gaudéria	1919c	1,10	131008*	2059a	0,84	64082*	1486a	0,62*	-5379

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); b_0: produtividade de grãos média da cultivar; b_1: coeficiente de regressão linear; σ^2: desvio da regressão; R^2: coeficiente de determinação (%); *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t para o coeficiente de regressão e pelo teste F para os desvios da regressão; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

No ano de 2017, de restrição ao desenvolvimento das plantas e favorável ao desenvolvimento das doenças, a maior média de produtividade foi obtida com a cultivar Carlasul que apresentou adaptabilidade especifica para ambientes favoráveis, mas com estabilidade frente as condições de uso de fungicida.

Em 2018, desfavorável à planta e favorável às doenças, as cultivares Altiva, Brava, Tarimba e Taura mostraram superioridade de expressão da produtividade. As cultivares Altiva e Brava apresentam adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis, sendo a Altiva com estabilidade e a Brava com instabilidade. Já as cultivares Tarimba e Taura apresentam adaptabilidade especifica à ambiente favorável, exigindo a maior presença de fungicida, porém com a cultivar Tarimba instável e a Taura com estabilidade.

No ano de 2019, desfavorável ao desenvolvimento das plantas e favorável ao desenvolvimento dos fungos, as maiores produtividade foram obtidas para as cultivares Afrodite, Ouro e Gaudéria, em que nestas cultivares foi observado adaptabilidade especifica à ambientes favoráveis para as cultivares Afrodite e Ouro com estabilidade e adaptabilidade ampla para a cultivar Gaudéria, porém com instabilidade.

Por fim, em 2020, ano novamente desfavorável às plantas e favorável às doenças, as maiores médias de produtividade foram observadas para as cultivares Altiva, Torena, Guria, Farroupilha, Ouro e Gaudéria. De modo geral, as cultivares Altiva, Torena, Guria e Farroupilha mostraram adaptabilidade ampla com estabilidade e as cultivares Ouro e Gaudéria adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis com estabilidade.

O grande potencial desta análise, considerando o índice ambiental pelas condições de uso do fungicida, está na identificação de cultivares que mostram maior capacidade de produtividade em condições adversas de ambiente com estabilidade. Destaca-se o ano de 2015, favorável à planta e favorável às doenças foliares e já registrado como o ano de maior facilidade de identificação de cultivares mais resistentes, a cultivar Altiva mostra uma adaptabilidade especifica para ambientes desfavoráveis com instabilidade. Entretanto, na maioria dos demais anos, em que houve condições desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas e favoráveis ao desenvolvimento dos fungos, esta cultivar apresenta uma tendência à médias de produtividade de grãos elevadas com condições de adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis ou adaptabilidade ampla com estabilidade.

Na possibilidade de qualificar a identificação de cultivares de maior resistência genética com possibilidade de redução de uso de fungicida sobre a produtividade de grãos e área foliar necrosa foi realizada a análise de características de adaptabilidade e estabilidade em que foi calculado o índice ambiental envolvendo de forma conjunta as condições de uso de fungicida com os diferentes anos agrícolas. Para isto, além da utilização do modelo de Eberhart e Russel foi utilizado o modelo de

Cruz, Torres e Vencovsky, que analisa o desempenho de cada cultivar separadamente para ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis.

Na Tabela 15, na análise da adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos, as cultivares que apresentam as maiores médias independente de ano e condição de uso do fungicida são as cultivares Altiva e Afrodite, sendo que a Altiva apresentou adaptabilidade especifica para ambientes desfavoráveis, com instabilidade pelo modelo de Eberhart e Russel. Este mesmo comportamento é observado pela análise realizada pelo modelo de Cruz, Torres e Vencovsky. Já a cultivar Afrodite apresentou adaptabilidade para ambientes favoráveis, com instabilidade para ambos os modelos considerados no estudo.

Na análise sobre a área foliar necrosada, as cultivares Altiva e Afrodite apresentaram reduzidas médias de área foliar necrosada, apresentando adaptabilidade ampla, com a cultivar Altiva com estabilidade e a cultivar Afrodite com instabilidade, pelo modelo de Eberhart e Russel. Pelo modelo de Cruz, Torres e Vencovsky a cultivar Altiva apresenta adaptabilidade especifica para ambientes favoráveis com estabilidade e a cultivar Afrodite não apresenta nenhuma característica adaptativa, porém com instabilidade.

De forma geral, como visto nas análises dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade por ano agrícola e na análise conjunta, a cultivar Altiva apresenta médias de produtividade elevadas com adaptabilidade especifica para ambientes desfavoráveis ou ampla, com estabilidade na maioria dos casos, surgindo com uma possibilidade de indicação de cultivos de aveia com menor uso do fungicida e com maior sustentabilidade.

Tabela 15: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade sobre a produtividade de grãos e área foliar necrosada em cultivares de aveia em função das condições de uso do fungicida e dos anos de cultivo.

Cultivar	$\overline{PG}$	Eberhart e Russel			Cruz, Torres e Vencovsky			
		b_1	σ^2	R^2	β_1	$\beta_1+\beta_2$	σ^2	R^2
	(SF+CF_1+CF_2+CF_3+2015+2016+2017+2018+2019+2020)							
Altiva	2371a	0,95*	115031*	88	0,94*	0,98	423819*	88
Brava	2284b	0,98	46353*	94	1,00	0,90	202744*	94
Guará	2230c	1,04	13680*	97	1,00	1,17*	91197*	97
Estampa	2125d	0,88*	50017*	92	0,88*	0,92	218991*	92
Corona	2289b	1,21*	66889*	95	1,14*	1,50*	203910*	96
Torena	2147d	0,90*	28766*	95	0,93*	0,80*	143738*	95
Charrua	2224c	0,97	29883*	95	0,96	1,03	154346*	95
Guria	2132d	0,86*	98178*	87	0,87*	0,84*	370949*	87
Tarimba	2128d	1,10*	91207*	92	1,12*	1,01	343233*	92
Taura	2046e	0,97	116810*	88	0,97	0,97	430051*	88
URS 21	2073e	0,87*	15812*	96	0,88*	0,83*	110986*	96
Faem 007	2186c	1,17*	113483*	92	1,12*	1,36*	385709*	92
Faem 006	2222c	1,06*	24378*	96	1,05*	1,07	139376*	96
Chiarasul	2134d	1,04	57754*	94	1,08*	0,87*	220002*	94
Carlasul	2272b	1,06*	103773*	91	1,10*	0,92	370391*	91
Brisasul	2199c	1,11*	19189*	97	1,07*	1,25*	104681*	97
Barbarasul	2184c	1,20*	6311	98	1,19*	1,24*	81450	98
Fapa Slava	1978e	0,87*	46579*	92	0,93*	0,63*	160531*	94
Afrodite	2355a	1,20*	84362*	94	1,21*	1,20*	328067*	94
Farroupilha	2257c	0,96	46788*	94	0,92*	1,11*	189732*	94
Ouro	2063e	0,73*	84027*	85	0,75*	0,66*	322599*	85
Gaudéria	2162d	0,74*	46273*	90	0,77*	0,64*	199214*	90
Cultivar	$\overline{AFN}$	Eberhart e Russel			Cruz, Torres e Vencovsky			
		b_1	σ^2	R^2	β_1	$\beta_1+\beta_2$	σ^2	R^2
	(SF+CF_1+CF_2+CF_3+2015+2016+2017+2018+2019+2020)							
Altiva	59d	1,02	5	98	1,00	1,19*	55	98
Brava	57d	1,00	30*	96	1,00	1,10	139*	96
Guará	63b	1,09*	22*	97	1,10*	0,90	105*	97
Estampa	56d	0,92*	82*	92	0,89*	1,36*	240*	93
Corona	69a	0,86*	284*	77	0,87*	0,79*	940*	77
Torena	62c	1,01	1	98	1,00	1,08	51	98
Charrua	61c	1,03	4	98	1,03	1,07	61	98
Guria	63b	1,07	28*	97	1,08*	0,91	130*	97
Tarimba	64b	0,97	25*	96	0,98	0,89	127*	96
Taura	61c	0,99	47*	95	0,99	1,02	196*	95
URS 21	64b	1,01	7	98	1,01	0,91	68	98
Faem 007	68a	0,94*	47*	95	0,96*	0,79*	187*	95
Faem 006	67a	0,98	48*	95	1,01	0,67*	164*	96
Chiarasul	65b	1,01	68*	94	1,04*	0,67*	223*	95
Carlasul	58d	1,01	52*	95	1,01	1,03	211*	95
Brisasul	59d	0,99	42*	95	0,96	1,35*	139*	96
Barbarasul	63b	0,99	102*	91	0,99	0,92	369*	91
Fapa Slava	64b	0,92*	42*	95	0,91*	1,01	179*	95
Afrodite	59d	1,01	46*	95	1,02	0,85*	184*	95
Farroupilha	62c	1,03*	17*	97	1,04	0,97	102*	97
Ouro	57d	1,01	117*	91	0,99	1,21*	403*	97
Gaudéria	60c	1,02	93*	92	1,00	1,20*	331*	93

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; $\overline{PG}$: produtividade de grãos média (kg ha^{-1}); $\overline{AFN}$: área foliar necrosada média (%); b_1: coeficiente de regressão linear; σ^2: desvio da regressão; R^2: coeficiente de determinação (%); β_1: coeficiente de regressão linear para ambientes desfavoráveis; $\beta_1+\beta_2$: coeficiente de regressão linear para ambientes favoráveis; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t para o coeficiente de regressão e pelo teste F para os desvios da regressão.

As características de adaptabilidade e estabilidade podem ser observadas a partir de diferentes modelos matemáticos que podem ser baseados em análise de variância, regressões lineares, regressões bissegmentadas, análise não paramétrica, análise visual, em fatores e ou componentes principais (DE CARVALHO et al., 2014; FREIRIA et al., 2018). Estes modelos, por muitas vezes utilizados de forma conjunta, vem auxiliando na caracterização de diferentes cultivares e manejos sobre a expressão da produtividade de grãos e outros indicadores pertinentes frente às modificações do ambiente, que pode estar relacionado às condições meteorológicas e às técnicas de manejo adotadas (ROCHA et al., 2010; CANALES ISLAS et al., 2017). Carvalho et al. (2016) determinaram a adaptabilidade e estabilidade fenotípica da soja cultivada em diferentes ambientes do Rio Grande do Sul por meio de análise de regressão bissegmentada, análise fatorial e AMMI. Freiria et al. (2018) estudaram a adaptabilidade e estabilidade de diversos genótipos de soja e compararam o desempenho de métodos baseados em análise de variância, modelos não paramétricos, de regressão, multivariados e mistos. Dos Santos et al. (2019) apresentaram um trabalho em que foram avaliadas a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho, utilizando o modelo de Cruz, Torres e Vencovsky, entre outros. Souza et al. (2021) examinaram a adaptabilidade e a estabilidade energética da produção de biomassa de 73 genótipos de capim-elefante em regime de colheita semestral, utilizando as metodologias propostas por Eberhart e Russell e Cruz, Torres e Vencovsky. Neto et al. (2022) analisaram o desempenho agronômico de 11 genótipos de cártamo utilizando diferentes métodos de adaptabilidade e estabilidade e identificaram os genótipos com comportamento estável e alta produtividade de grãos em diferentes ambientes do Cerrado brasileiro.

7.4 Conclusão

Na análise da regressão linear, a cultivar Gaudéria apresenta reduzida área foliar necrosada na ausência de fungicida e tendência de menor dependência ao uso do agroquímico. As cultivares Altiva e Farroupilha são menos dependentes ao manejo de maior uso de fungicida, na expressão da produtividade de grãos.

Pelos modelos de Eberhart e Russel e Cruz, Tores e Vencovsky a cultivar Altiva apresenta médias mais elevadas de produtividade com adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis, porém sem estabilidade.

Na análise sobre a área foliar necrosada, a cultivar Altiva mostra reduzidos valores de necrose foliar, com adaptabilidade geral e estabilidade. Esta cultivar é identificada como uma possível candidata para cultivos com menor uso do fungicida.

8 ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO RELATIVA E DE CORRELAÇÃO E TRILHA NO DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE FUNGICIDA SOBRE ALTERAÇÕES DE INDICADORES DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE AVEIA

8.1 Introdução

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de múltiplos propósitos e seus grãos possuem um excelente valor nutricional para consumo humano, sendo utilizada em inúmeros produtos alimentícios (MARCOS et al., 2016; MANTAI et al., 2020a). Dentre suas características nutricionais, destaque é dado à elevada qualidade proteica, além de ser rica em fibras solúveis, lipídios e antioxidantes, componentes nutricionais que estão relacionados aos efeitos benéficos de redução de colesterol, diabetes, obesidade e prevenção ao câncer (ISIDRO-SÁNCHEZ et al., 2020; MARCOS et al., 2016). Por esse motivo, o interesse do consumidor e, consequentemente da indústria, tem aumentado de forma significativa nos últimos anos, exigindo uma maior demanda na produção de grãos (DORNELLES et al., 2021; KUTASY et al., 2022)

Para a produção de grãos de aveia destinados à alimentação humana é necessária a utilização de cultivares capazes de fornecer altas produtividades e que produzam grãos que atendam às exigências da indústria, como elevada proporção de grãos com dimensão maior que 2 milímetros e que possuam maior valor de cariopse em relação à casca do grão (CRESTANI et al., 2010; MANTAI et al., 2020b). Estas condições estão diretamente ligadas às tecnologias de manejo que promovem modificações físicas e químicas ligadas ao desenvolvimento da planta e a qualidade dos grãos (ANDERSON et al., 2017; MANTAI et al., 2020a).

Entre as tecnologias de manejo, a utilização de fungicida recebe destaque visto que a cultura da aveia é suscetível ao ataque de doenças foliares, como a ferrugem da folha e a helmintosporiose, que comprometem de forma significativa o desenvolvimento da planta e a produtividade e qualidade de grãos (DIETZ; SCHIERENBECK; SIMÓN, 2019; PEREIRA et al., 2020). Como os grãos de aveia destinados à alimentação humana são utilizados e consumidos em sua forma "*in natura*", a utilização do fungicida requer cuidado, afim de evitar permanência de resíduo do agente químico nos grãos (DA SILVA et al., 2015; DORNELLES et al., 2020). Desta forma, considerando que o fungicida possui efeito direto sobre os componentes da produtividade e qualidade dos grãos, e que existe a necessidade de manter um maior intervalo da colheita com a última aplicação do agroquímico, surge a necessidade de conhecer a dinâmica de relação entre o manjo do fungicida com estes caracteres.

A análise de regressão, juntamente com a análise de contribuição relativa e de correlação e trilha vêm sendo empregadas em várias espécies buscando esclarecer relações de causa e efeito em diferentes perspectivas e podem contribuir no estudo da dinâmica de relação do manejo do fungicida com os caracteres de produtividade e qualidade de grãos de aveia (DE MAMANN et al., 2017;

PANSERA et al., 2022). A análise de regressão permite relacionar uma ou mais variáveis independentes à uma variável dependente, evidenciando a tendencia do comportamento dos dados (EVSTATIEV; GABROVSKA-EVSTATIEVA, 2021; MAULUD; ABDULAZEEZ, 2020). A análise da contribuição relativa permite identificar as variáveis que mais contribuem para a variabilidade total dentro de um determinado conjunto de variáveis (GRIGOLO et al., 2018; MAULUD; ABDULAZEEZ, 2020). Já o método de correlação e trilha permite avaliar e entender as causas envolvidas nas associações entre caracteres e decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal e variáveis explicativas (ZUFFO et al., 2018; SEMNANINEJAD et al., 2021).

O objetivo do capítulo é estabelecer a taxa de função linear e de contribuição relativa entre indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia pelo número de aplicação de fungicida, na identificação das variáveis mais sensíveis às alterações do manejo do agroquímico. Desenvolver análise de correlação e trilha para diagnóstico da dinâmica e sentido das relações dos indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia nas condições de uso de fungicida.

8.2 Materiais e Métodos

A fim de conhecer o efeito do fungicida sobre variáveis ligadas a produtividade, qualidade química e de indústria de grãos de aveia, foram consideradas as seguintes variáveis para a realização deste capítulo: área foliar necrosada (%), produtividade de grãos (kg ha^{-1}), massa de mil grãos (g), massa do hectolitro (kg hl^{-1}), índice de descasque, número de grãos maiores que 2 mm (n), produtividade industrial (kg ha^{-1}), amido (g kg^{-1}), proteína total (g kg^{-1}) e fibra total (g kg^{-1}). Tendo em vista a grande quantidade de cultivares consideradas no estudo, para as análises deste capítulo foram consideradas apenas três cultivares. As cultivares foram selecionadas a fim de representarem de forma geral todo o conjunto considerado no estudo. Desta forma, buscou-se uma cultivar com maior expressão de resistência e de produtividade de grãos, uma cultivar com menor desempenho a estes indicadores e uma cultivar padrão ou comercial, sendo uma das mais cultivadas na região. A escolha da cultivar com melhor desempenho seguiu o critério da observação da frequência de comportamento superior e inferior de médias de produtividade de grãos de aveia nos anos de cultivo, como também a média de produtividade geral. A cultivar que apresentou média geral elevada e com maior quantidade de médias superiores à média mais um desvio padrão entre todas as condições de aplicação do fungicida em todos os anos agrícolas foi a selecionada. Em contrapartida, a cultivar que apresentou reduzida média geral de produtividade de grãos e maior quantidade de médias inferiores à média menos um desvio padrão entre todas as condições de aplicação do fungicida em todos os anos agrícolas foi a selecionada para representar o grupo das cultivares com menor eficiência.

Foi realizada análise de variância dos efeitos principais e de interação do número de aplicação de fungicidas e cultivares de aveia (não apresentado). Pela análise de regressão linear simples, buscou-se evidenciar a taxa que relaciona as variáveis consideradas com a aplicação do fungicida. Pelo método de Singh, foi realizada a análise de contribuição relativa do número de aplicação do fungicida sobre a área foliar necrosada e os componentes de produtividade e qualidade química e de indústria de grãos de aveia, a fim de observar quais caracteres possuem maior sensibilidade em relação a ação do manejo do agroquímico.

Pela análise de trilha foram determinadas a magnitude e o sentido das correlações entre a produtividade de grãos com as demais variáveis consideradas no estudo, como também, determinar a magnitude e o sentido das correlações da área foliar necrosada com as demais variáveis. Na análise de correlação foi considerado o efeito conjunto dos anos agrícolas para cada cultivar em cada condição de uso do fungicida, observando se as relações entre as variáveis são modificadas à medida que a condição do manejo do fungicida é alterada. Todos os métodos utilizados na realização do capítulo estão descritos no Capítulo 4, em que foi considerado 5% de probabilidade de erro na aplicação dos testes estatísticos. Todas as determinações foram realizadas com a utilização do programa computacional livre GENES (CRUZ, 2013). Além disto, foi utilizado o software Excel do pacote Microsoft Office.

8.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 16, analisando o desempenho das cultivares de aveia nas distintas condições de uso do fungicida e de condição de ano agrícola, verifica-se no ano de 2015 superioridade de produtividade de grãos na condição sem uso de fungicida para a cultivar Altiva e Guria. Estas duas cultivares também apresentam superioridade na condição de uma aplicação do agroquímico, juntamente com a cultivar Charrua. Na condição de duas aplicações, destacam-se as cultivares Altiva, Brisasul e Barbarasul. Na condição com três aplicações de fungicida, as cultivares que se destacam são Altiva, Brava e Chiarasul. Como destacado, a cultivar Altiva apresentou médias de produtividade com superioridade a média mais um desvio padrão para todas as condições de uso do agroquímico.

No ano de 2016, favorável ao desenvolvimento das plantas e desfavorável aos fungos causadores das doenças foliares a superioridade em relação a produtividade de grãos, na condição sem uso do fungicida é observada para as cultivares Corona, Faem 007, Carlasul e Afrodite. Destaca-se que para as cultivares Corona, Faem 007 e Afrodite comportamentos superiores foram observados em todas as condições de uso do fungicida.

Tabela 16: Produtividade de grãos em cultivares de aveia pelas condições de uso de fungicida.

Cultivar	$PG_{2015(AAC)}$				$PG_{2016(AFC)}$				$PG_{2017(ADC)}$			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	2321^S	2696^S	3487^S	4236^S	2893	3478	4423	4467	1103	1658	1909	2109
Brava	1230	2393	3191	3993^S	3298	3795	4112	4225	1024	1539^I	1882	2135
Guará	1486	2083	3166	3453	3553	4067	4253	4487	1138	1736	2054	2348
Estampa	1555	2393	2822	3302	3266	3625	3671^I	3982	790^I	1413^I	1592^I	1720^I
Corona	804	2030	2824	3333	3780^S	4812^S	4983^S	5033^S	976	2093	2424^S	2499
Torena	1348	2377	2783	2892^I	2861	3462	3886	4271	859^I	1609	2217	2352
Charrua	1616	2662^S	3078	3107	3584	4048	4131	4152	983	1633	2083	2102
Guria	1949^S	2681^S	3413^S	3517	2311^I	3296^I	3773	4067	1150	1713	2119	2594
Tarimba	1386	1646^I	2672^I	3160	3350	3934	4249	4661	910^I	1303^I	1541^I	2119
Taura	863	1813	2152^I	2775^I	2231^I	3366^I	4145	4804	1069	1862	1974	2310
URS 21	1552	2192	3071	3104	3312	3569	3662^I	3755^I	1025	1921	1948	2156
Faem 007	579^I	1194^I	2922	2923^I	3752^S	4233^S	4861^S	4924^S	1436^S	2399^S	2445^S	2501
Faem 006	749^I	2035	3264	3660	3461	3929	4134	4543	1340	2126	2444^S	2586
Chiarasul	727^I	1304	3353	3923^S	3036	3783	4060	4009	1380^S	1911	2228	2432
Carlasul	1352	2166	3414^S	3514	3802^S	4127	4128	4182	1620^S	2469^S	2857^S	3154
Brisasul	1066	2237	3516^S	3700	3362	3827	4172	4975^S	1031	1683	2058	2106
Barbarasul	680^I	1854	3580^S	3739	3358	4171	4453	4833	1220	1732	1802^I	2139
Fapa Slava	1189	1719	3096	3159	2081^I	3373^I	3562^I	3621^I	954	1892	2014	2416
Afrodite	566^I	1527^I	2802	3382	4096^S	4349^S	4687^S	5195^S	1199	1938	2404	2553
Farroupilha	1324	2448	3215	3463	3354	3833	4104	4416	1459^S	2394^S	2443^S	2543
Ouro	1386	2290	2791	3378	2736	3131^I	3413^I	3641^I	1237	1900	2110	2362
Gaudéria	1308	2163	2601^I	3222	3055	3269^I	3552^I	3614^I	1317	1901	1968	2072
Média	1229	2087	3055	3406	3206	3794	4110	4357	1146	1856	2114	2332
DP	448	422	354	368	522	413	413	481	213	304	306	287

Cultivar	$PG_{2018(ADC)}$				$PG_{2019(ADC)}$				$PG_{2020(ADC)}$			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Altiva	1535^S	1959	2962^S	3077	1097^S	1409	1892	2356	1143	1228	1476	1484
Brava	1477^S	2284^S	3056^S	2933	825	1550	2168	2368	1046	1254	1468	1487
Guará	1310^S	2000	2310	3012	746	1186	1963	1903^I	728^I	1403	1440	1465
Estampa	1173	2022	2426	3171	719	1712^S	2034	2130	1068	1343	1363	1708^S
Corona	1153	1668	2150	2964	702	1142^I	2018	2097	1025	1381	1308^I	1798^S
Torena	1087	1519	2832^S	3039	556	1308	2133	2278	1376^S	1477^S	1674^S	1607
Charrua	741	1866	2390	3072	1026^S	1553	2114	2144	1166	1330	1409	1405
Guria	670	1774	2219	2573^I	507	1061^I	1719^I	2045	1088	1511^S	1707^S	1729^S
Tarimba	635^I	2588^S	2873^S	3159	655	1507	2145	2557^S	568^I	971^I	1414	1489
Taura	1078	1863	2856^S	3354^S	645	1468	2043	2232	765	870^I	1275^I	1307^I
URS 21	1099	2057	2144	2456^I	672	1248	1870	2239	753^I	1228	1404	1427
Faem 007	716	1523	2224	2926	678	1261	1955	1994^I	801	1225	1460	1537
Faem 006	773	2036	2438	2732	867	1586	1744^I	2038	990	1121	1414	1456
Chiarasul	803	1369^I	2445	2986	540^I	1527	2273^S	2358	766	1199	1398	1408
Carlasul	767	1626	2175	2667	572	1320	2114	2197	713^I	789^I	1267^I	1311^I
Brisasul	676	2016	2261	2652	594	1376	1803^I	2194	1009	1367	1478	1428
Barbarasul	729	1626	2446	3125	555	1300	2114	2260	771	1154	1270^I	1207^I
Fapa Slava	740	1567	2394	2992	536	1130^I	2173	2266	857	1150	1420	1225^I
Afrodite	690	1861	2484	3441^S	774	1605	2514	2842^S	1103	1516^S	1540	1628
Farroupilha	691	1676	2268	2733	747	1283	1713^I	2018	1309^S	1544^S	1645^S	1791^S
Ouro	797	1218^I	1606^I	2015^I	1031^S	1488	2330	2912^S	1281^S	1410	1467	1655
Gaudéria	975	1236^I	2329	3136	1140^S	2240^S	2282^S	2578^S	1267^S	1398	1625^S	1635
Média	923	1789	2422	2919	736	1421	2051	2273	982	1267	1451	1509
DP	274	331	330	317	190	252	208	258	227	203	125	170

PG: produtividade de grãos média (kg ha^{-1}); SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; ^{S}: valor superior à média mais um desvio padrão; ^{I}: valor inferior à média menos um desvio padrão; DP: desvio padrão; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Em 2017, ano considerado desfavorável ao desenvolvimento da planta e favorável aos fungos, superioridade foi observada para a cultivar Faem 007, Chiarasul, Carlasul e Farroupilha, na condição sem uso de fungicida. Nas condições de uma e duas aplicações do agroquímico, as cultivares Faem 007, Carlasul e Farroupilha mantiveram superioridade na expressão da produtividade de grãos. Na condição com três aplicações de fungicida não houve superioridade em nenhuma cultivar, mostrando similaridade de comportamento.

Já em 2018, ano considerado desfavorável ao desenvolvimento das plantas e favorável às doenças foliares, a superioridade na condição sem uso do fungicida é observada nas cultivares Altiva, Brava e Guará. A cultivar Guará apresentou comportamento superior nas condições de uma e duas aplicações de fungicida, juntamente com a cultivar Tarimba. Na condição de duas aplicações cabe ressaltar as cultivares Altiva, Torena e Taura que também demonstraram comportamento superior em relação às demais. Na condição com três aplicações somente as cultivares Taura e Afrodite apresentara médias superiores à média geral mais um desvio padrão.

No ano de 2019 na condição sem uso do fungicida, destaca-se, novamente, a cultivar Altiva, juntamente com as cultivares Charrua, Ouro e Gaudéria. Neste ano agrícola, grande destaque foi obtido para a cultivar Gaudéria que mostrou superioridade em todas as condições de uso do fungicida. No ano de 2020, as cultivares Torena, Farroupilha, Ouro e Gaudéria foram as que apresentaram os melhores comportamentos em relação à média mais um desvio padrão. Neste ano, nas condições de uma, duas e três aplicações, as cultivares Guria e Farroupilha apresentam superioridade, destacando-se entre as cultivares em um ano que apresentou restrições para o desenvolvimento das plantas.

Buscando definir o número total de vezes em que cada cultivar apresentou médias de produtividade de grãos classificadas com desempenho superior e inferior nas diferentes condições de uso do fungicida na Tabela 16, é apresentada a Tabela 17, em que buscou-se identificar as cultivares com maior número de médias superiores, assim como, as cultivares com maior número de médias inferiores.

Observa-se que os maiores somatórios de superioridade foram obtidos para as cultivares Altiva, Faem 007, Afrodite e Farroupilha que apresentaram um total de sete comportamentos superiores. Para estas cultivares somente a cultivar Altiva apresenta elevada produtividade de grãos sem apresentar comportamento inferior para a expressão da produtividade de grãos nos anos agrícolas.

Em relação aos somatórios do número de inferioridade obtidos para cada cultivar, destacam-se as cultivares Tarimba, Taura, Fapa Slava e Ouro. Entretanto, somente a cultivar Fapa Slava não apresentou comportamento superior para a produtividade de grãos nas condições de aplicação de fungicida nos anos agrícolas, apresentando também a menor produtividade média entre as cultivares.

Tabela 17: Frequência de comportamento superior e inferior de médias de produtividade de grãos de aveia nos anos de cultivo.

Cultivar	Superioridade						Σ	Inferioridade						Σ	PG
	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Altiva	4	0	0	2	1	0	7	0	0	0	0	0	0	0	2371a
Brava	1	0	0	3	0	0	4	0	0	1	0	0	0	1	2284b
Guará	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2230c
Estampa	0	0	0	0	1	1	2	0	1	4	0	0	0	5	2125d
Corona	0	4	1	0	0	1	6	0	0	0	0	1	1	2	2289b
Torena	0	0	0	1	0	3	4	1	0	1	0	0	0	2	2147d
Charrua	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2224c
Guria	3	0	0	0	0	3	6	0	2	0	1	2	0	5	2132d
Tarimba	0	0	0	2	1	0	3	2	0	3	1	0	2	8	2128d
Taura	0	0	0	2	0	0	2	2	2	0	0	0	3	7	2046e
URS 21	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	4	2073e
Faem 007	0	4	3	0	0	0	7	3	0	0	0	1	0	4	2186c
Faem 006	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	2222c
Chiarasul	1	0	1	0	1	0	3	1	0	0	1	1	0	3	2134d
Carlasul	1	1	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	4	4	2272b
Brisasul	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	2199c
Barbarasul	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	2	4	2184c
Fapa Slava	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	1	6	1978e
Afrodite	0	4	0	1	1	1	7	2	0	0	0	0	0	2	2355a
Farroupilha	0	0	3	0	0	4	7	0	0	0	0	1	0	1	2257c
Ouro	0	0	0	0	1	1	2	0	3	0	3	0	0	6	2063e
Gaudéria	0	0	0	0	4	2	6	1	3	0	1	0	0	5	2162d
Média							3							3	2185

PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; Σ: somatório do número de ocorrências de superioridade ou inferioridade.

Desta forma, as cultivares Altiva e Fapa Slava foram as escolhidas para representar as demais cultivares frente às características de produtividade, indicadores de indústria e qualidade químicas dos grãos. A cultivar Taura foi selecionada como sendo a cultivar padrão ou de referência, por ser uma das cultivares mais semeada no estado do Rio Grande do Sul, visto suas características de qualidade que são de interesse da indústria. Com isso, foram selecionadas uma cultivar com maior expressão de resistência e de produtividade de grãos, uma cultivar com menor desempenho a estes indicadores e uma cultivar referência para representar as demais cultivares.

Na Tabela 18 são apresentadas as médias de área foliar necrosada, produtividade e indicadores de qualidade de grãos de aveia nas condições de uso do fungicida para as três cultivares selecionadas para representar o conjunto total de cultivares.

Tabela 18: Médias de área foliar necrosada, produtividade e indicadores de qualidade de grãos de aveia nas condições de uso do fungicida.

Ano	Altiva (PSup)				Taura (PCom)				Fapa Slava (PInf)			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
					Área foliar necrosada aos 105 DAE (%)							
$2015_{(AFD)}$	69	30	7	2	89	26	17	16	52	46	24	17
$2016_{(ADD)}$	7	6	3	0	13	5	3	0	32	8	4	0
$2017_{(AFD)}$	98	63	57	57	99	65	57	56	98	71	68	60
$2018_{(AFD)}$	100	99	78	77	100	98	93	86	100	100	76	75
$2019_{(AFD)}$	98	89	56	56	98	89	52	39	99	98	81	70
$2020_{(AFD)}$	96	94	90	85	93	93	90	88	96	95	92	81
Média	78A	64B	49C	46C	82A	63B	52C	48C	80A	70B	58C	51C
					Massa de mil grãos (g)							
$2015_{(AAC)}$	29	32	32	33	26	29	30	32	29	30	31	32
$2016_{(AFC)}$	32	33	33	33	28	30	32	32	22	26	29	30
$2017_{(ADC)}$	28	29	31	31	24	25	27	27	21	23	24	24
$2018_{(ADC)}$	21	22	24	25	18	20	22	26	16	19	22	24
$2019_{(ADC)}$	22	24	24	25	21	21	22	24	21	22	24	25
$2020_{(ADC)}$	29	30	31	28	28	29	29	29	25	27	30	28
Média	27A	28A	29A	29A	24B	26A	27A	28A	22B	25A	27A	27A
					Massa do hectolitro (kg hl^{-1})							
$2015_{(AAC)}$	47	50	51	52	41	47	52	53	46	49	52	53
$2016_{(AFC)}$	50	52	52	53	49	51	55	55	44	48	49	52
$2017_{(ADC)}$	47	48	50	51	40	44	47	48	40	42	42	43
$2018_{(ADC)}$	39	40	45	52	39	41	42	47	38	39	41	43
$2019_{(ADC)}$	39	40	41	42	39	39	39	42	39	39	41	41
$2020_{(ADC)}$	44	45	46	46	43	43	45	45	41	42	42	45
Média	44B	46A	48A	49A	42B	44B	47A	48A	41B	43B	45A	46A
					Produtividade de grãos (kg ha^{-1})							
$2015_{(AAC)}$	2321	2696	3487	4236	863	1813	2152	2775	1186	1719	3096	3159
$2016_{(AFC)}$	2893	3493	4423	4467	2231	3366	4145	4804	2081	3373	3562	3621
$2017_{(ADC)}$	1103	1658	1909	2109	1069	1862	1974	2310	954	1892	2014	2016
$2018_{(ADC)}$	1535	1959	2962	3077	1078	1863	2856	3354	740	1567	2394	2992
$2019_{(ADC)}$	1097	1409	1892	2356	645	1468	2043	2232	536	1130	2173	2266
$2020_{(ADC)}$	1143	1228	1476	1484	765	870	1275	1307	857	1150	1420	1225
Média	1682D	2074C	2692B	2955A	1109D	1874C	2408B	2797A	1059C	1805B	2443A	2547A

PSup: padrão superior; PCom: padrão comercial: PInf: padrão inferior; DAE: dias após a emergência; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; AFD: ano favorável às doenças foliares; ADD: ano desfavorável às doenças foliares. AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Na análise de médias da Tabela 18, envolvendo a área foliar necrosada, produtividade e indicadores de qualidade de grãos, se percebe que na grande maioria dos anos há uma grande expressão da área foliar necrosada na ausência de fungicida e a partir das aplicações que acontecem de forma acumulativa, ocorre a redução da área foliar necrosada, independente de cultivar, nos

diferentes anos agrícolas. Vale destacar o ano de 2016, onde as condições foram favoráveis à planta e desfavoráveis ao desenvolvimento dos fungos, não favorecendo a formação do triângulo da doença, formado pelo patógeno, hospedeiro e ambiente favorável. De modo geral, pelo teste de médias evidencia-se à redução da área foliar necrosada pelo número de aplicações de fungicida, sendo que a partir da segunda aplicação aos 75 DAE não há mais redução da área foliar necrosada, confirmada pela similaridade do valor médio obtido para a terceira aplicação, fato observado para as três cultivares consideradas nesta análise.

Na análise da massa de mil grãos, a cultivar Altiva mostra sofrer menor influência do fungicida em relação às demais, pois não apresenta um incremento significativo para as médias obtidas para este indicador. Já as cultivares Taura e Fapa Slava mostram uma redução da massa de mil grãos na ausência do fungicida. A partir de uma aplicação e aplicações sequenciais a cada 15 dias não mostram mais efeitos de incremento sobre esta variável. Na análise da massa do hectolitro, comportamento similar é observado, mas para a cultivar Altiva, a ausência do fungicida mostra redução da variável, em que a partir de uma aplicação mostra-se similaridade com as demais aplicações. Nas cultivares Taura e Fapa Slava, verifica-se que tanto a ausência e uma aplicação do fungicida aos 60 DAE não há diferença nas médias obtidas, mostrando que para estas cultivares o incremento da massa do hectolitro acontece a partir de duas ou mais aplicações do agroquímico.

Na análise da produtividade de grãos se observa um comportamento praticamente linear de crescimento da produtividade, destacando na cultivar Altiva uma produtividade de 1682 kg ha^{-1} na ausência do fungicida, chegando a quase 3000 kg ha^{-1} com três aplicações. Destaca-se que esta terceira aplicação ainda evidencia uma grande amplitude de tempo entre a colheita e a última aplicação do agrotóxico. Fato similar acontece para a cultivar Taura. Para a cultivar Fapa Slava tanto a condição com duas e três aplicações de fungicida já ocorre similaridade de produtividade de grãos, indicando que duas aplicações já são suficientes para a cultivar alcançar seu potencial produtivo, independente de ano agrícola.

Na Tabela 19, estão apresentados os indicadores de produtividade e qualidade industrial de grãos de aveia nas condições de uso do fungicida para as três cultivares selecionadas. No teste de comparação de médias, observa-se que independente de ano agrícola a expressão do índice de descasque só mostra incremento efetivo a partir da segunda aplicação de fungicida, não diferindo da terceira aplicação para as cultivares Altiva e Taura. Para a cultivar Fapa Slava observa-se um aumento efetivo a partir da primeira aplicação e não diferindo nas demais.

Tabela 19: Médias do índice de descasque, do número de grãos maiores que 2 milímetros e da produtividade industrial da aveia pelas condições de uso do fungicida.

Ano	Altiva (PSup)				Taura (PCom)				Fapa Slava (PInf)			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
Índice de descasque												
$2015_{(AAC)}$	0,70	0,70	0,74	0,77	0,64	0,66	0,79	0,73	0,72	0,74	0,71	0,71
$2016_{(AFC)}$	0,75	0,75	0,75	0,78	0,79	0,79	0,81	0,81	0,59	0,69	0,77	0,72
$2017_{(ADC)}$	0,70	0,72	0,76	0,75	0,68	0,68	0,71	0,72	0,71	0,70	0,70	0,66
$2018_{(ADC)}$	0,65	0,72	0,73	0,8	0,64	0,75	0,75	0,77	0,6	0,65	0,69	0,73
$2019_{(ADC)}$	0,66	0,66	0,74	0,74	0,70	0,72	0,72	0,79	0,77	0,77	0,75	0,75
$2020_{(ADC)}$	0,68	0,75	0,76	0,71	0,80	0,80	0,80	0,80	0,77	0,77	0,78	0,83
Média	0,69B	0,72B	0,75A	0,76A	0,71B	0,73B	0,76A	0,77A	0,69B	0,72A	0,73A	0,73A
Número de grãos maiores que 2 milímetros (n)												
$2015_{(AAC)}$	60	68	69	71	47	58	60	65	60	69	71	77
$2016_{(AFC)}$	51	54	55	61	41	54	60	60	19	21	32	35
$2017_{(ADC)}$	45	52	58	61	55	66	69	74	37	50	52	45
$2018_{(ADC)}$	52	50	52	64	61	64	67	74	45	46	49	52
$2019_{(ADC)}$	45	52	56	55	41	44	46	56	48	49	52	57
$2020_{(ADC)}$	57	60	68	76	47	56	58	60	53	56	59	56
Média	52B	56B	60A	65A	49B	57A	60A	65A	44B	49A	53A	54A
Produtividade industrial (kg ha^{-1})												
$2015_{(AAC)}$	989	1268	1797	2322	252	687	1017	1306	510	863	1543	1707
$2016_{(AFC)}$	1088	1399	1810	2101	705	1433	2013	2335	231	499	849	895
$2017_{(ADC)}$	348	628	838	955	400	843	976	1244	249	655	735	733
$2018_{(ADC)}$	527	700	1137	1587	416	898	1433	1924	154	533	778	1303
$2019_{(ADC)}$	327	476	795	1014	188	462	661	990	194	416	848	962
$2020_{(ADC)}$	440	627	807	877	288	387	587	603	359	499	599	595
Média	620D	850C	1197B	1476A	375D	785C	1115B	1400A	283D	578C	892B	1033A

PSup: padrão superior; PCom: padrão comercial: PInf: padrão inferior; DAE: dias após a emergência; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Na análise do número de grãos maiores de dois milímetros, na cultivar Altiva, independente de ano agrícola o aumento desta variável foi observado a partir da segunda aplicação de fungicida, se mostrando similar na terceira aplicação. Para as cultivares Taura e Fapa Slava a ausência de fungicida foi responsável pela redução dessa variável, não havendo diferença entre médias a partir de uma aplicação.

Na análise da produtividade industrial que envolve o produto da produtividade de grãos, índice de descasque e o número de grãos maiores que dois milímetros, independente de ano agrícola, se observa uma tendência de linearidade, com resultados mais expressivos com três aplicações de fungicida para as cultivares Altiva e Taura. Destaca-se que embora sejam três aplicações de fungicida ainda há uma grande amplitude de variação de tempo entre a última aplicação e a colheita.

Na Tabela 20, são apresentados os indicadores da qualidade química de grãos de aveia em função do número de aplicação do fungicida para as cultives Altiva, Taura e Fapa Slava.

Tabela 20: Médias de indicadores da qualidade química de grãos de aveia no uso do fungicida.

Ano	Altiva (PSup)				Taura (PCom)				Fapa Slava (PInf)			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
					Amido (g kg^{-1})							
$2015_{(AAC)}$	425	462	480	490	422	436	437	480	446	447	453	454
$2016_{(AFC)}$	428	454	449	445	417	425	426	436	405	417	417	420
$2017_{(ADC)}$	420	424	429	436	427	434	435	437	424	425	427	436
$2018_{(ADC)}$	420	425	432	437	441	443	446	450	428	430	437	437
$2019_{(ADC)}$	439	439	444	447	431	434	441	453	432	433	439	439
$2020_{(ADC)}$	450	454	456	459	456	457	460	462	458	460	462	463
Média	430B	443A	448A	452A	432B	438B	441B	453A	432B	435B	439A	442A
					Proteína total (g kg^{-1})							
$2015_{(AAC)}$	105	109	109	105	92	95	112	118	114	118	118	114
$2016_{(AFC)}$	114	115	127	133	111	111	115	118	99	100	120	117
$2017_{(ADC)}$	116	118	120	122	104	110	115	116	104	107	109	113
$2018_{(ADC)}$	103	113	115	116	110	113	114	116	107	108	113	114
$2019_{(ADC)}$	114	116	126	128	116	121	121	128	110	114	121	126
$2020_{(ADC)}$	107	110	110	111	110	113	114	121	113	119	117	115
Média	110A	114A	118A	119A	107A	111A	115A	120A	108A	111A	116A	117A
					Fibra total (g kg^{-1})							
$2015_{(AAC)}$	130	119	117	115	136	138	140	134	119	119	121	120
$2016_{(AFC)}$	125	110	118	111	128	126	122	117	122	133	130	140
$2017_{(ADC)}$	132	128	127	124	139	129	126	123	140	136	134	134
$2018_{(ADC)}$	141	138	129	127	139	130	129	123	143	141	131	130
$2019_{(ADC)}$	127	121	121	120	129	124	120	119	127	128	120	119
$2020_{(ADC)}$	127	126	125	122	123	119	119	115	120	119	118	116
Média	130A	124A	123A	120A	132A	128A	126A	122A	129A	129A	126A	127A

PSup: padrão superior; PCom: padrão comercial: PInf: padrão inferior; DAE: dias após a emergência; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott. AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia.

Na análise da Tabela 20, dos indicadores de qualidade química de grãos se percebe que para o conteúdo de amido nos grãos de aveia em gramas por quilo, a partir da segunda aplicação de fungicida há um incremento desta variável para as cultivares Altiva e Fapa Slava. Para a cultivar Taura as três aplicações mostram resultados mais expressivos para esta variável.

Na análise de conteúdo de proteína e fibra nos grãos de aveia se verifica que nestas variáveis a ausência ou diferentes aplicações sequencias de fungicida não mostram variações significativas de expressão destas variáveis. Por tanto, indicam que o incremento do uso de fungicida traz resultados mais efetivos sobre componentes diretamente ligados a massa de grãos e a produtividade, embora a

produtividade industrial seja modificada de forma linear, grande parte desses resultados provem de alterações que aconteceram na produtividade de grãos.

Na Tabela 21 são apresentadas as regressões lineares na estimativa da relação entre o número de aplicações de fungicida com a área foliar necrosada e indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia juntamente com a análise de contribuição relativa na identificação das variáveis mais sensíveis as modificações do manejo do agroquímico, para cada cultivar e independente de ano agrícola.

Tabela 21: Regressões lineares e contribuição relativa dos indicadores de produtividade e qualidade de grãos de aveia pelas condições de uso do fungicida.

Variável	Altiva			Taura			Fapa Slava		
	$b_0 + b_1x$	R^2	CR (%)	$b_0 + b_1x$	R^2	CR (%)	$b_0 + b_1x$	R^2	CR (%)
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020)								
AFN	76-11,1*x	94	0,0	78-11,3*x	91	0,0	79-10,0*x	99	10,4
MMG	27+0,7x	82	1,2	24+1,3*x	99	0,0	23+1,6*x	94	19,0
MH	44+1,6x	99	0,0	42+2,2*x	98	1,0	41+1,5x	99	10,3
PG	1687+456*x	98	56,5	1206+559*x	97	62,8	1184+529*x	94	5,5
ID	0,71+0,01x	84	6,5	0,70+0,02x	95	4,3	0,70+0,01x	80	0,0
NG>2mm	51+4,2*x	99	20,9	49+5,1*x	95	22,8	44+3,4x	94	5,7
PI	598+291*x	99	0,0	407+340*x	99	0,0	318+248*x	96	25,1
AM	432+7,1x	92	5,7	431+6,4x	92	0,0	432+3,1x	99	12,2
PT	110+3,1x	98	2,6	107+4,2x	99	3,2	108+3,1x	90	7,4
FT	129-3,1x	88	6,4	131-3,5x	96	5,6	129-0,9x	52	4,1

AFN: área foliar necrosada avaliada aos 105 DAE (%); MMG: massa de mil grãos (g); MH: massa do hectolitro (kg hl^{-1}); PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); ID: índice de descasque; NG>2mm: número de grãos maiores que 2 milímetros (n); PI: produtividade industrial (kg ha^{-1}); AM: amido (g kg^{-1}); PT: proteína total (g kg^{-1}); FT: fibra total (g kg^{-1}); R^2: coeficiente de determinação (%); CR: contribuição relativa pelo método de Singh; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Destaca-se que para a área foliar necrosada, a cada uma aplicação do fungicida ocorre a redução de 11,1%, 11,3% e 10 % de área foliar necrosada nas cultivares Altiva, Taura e Fapa Slava, respectivamente. Para a massa de mil grãos não há variação em função do número de aplicação de fungicida para a cultivar Altiva, mostrando estabilidade nesta variável. No entanto, para as cultivares Taura e Fapa Slava há um aumento significativo de 1,3 g e 1,6 g no carácter em função da aplicação do fungicida.

Na análise da massa do hectolitro, apenas a cultivar Taura mostrou efetividade no incremento da variável pelo número de aplicações de fungicida, dado pela significância do coeficiente angular da regressão obtida. Na análise da produtividade de grãos, todas as cultivares mostraram significância do coeficiente angular e de modo geral mostram que a cada aplicação do fungicida há o incremento de 456, 559 e 529 kg ha^{-1} para as cultivares Altiva, Taura e Fapa Slava, respectivamente. Na análise do índice de descasque não há comportamento linear pelo número de aplicações de fungicida. O

número de grãos maiores que dois milímetros mostra comportamento linear para as cultivares Altiva e Taura, mostrando uma tendência de aumento de 4 e 5 grãos maiores que dois milímetros a cada cem grãos, com exceção da cultivar Fapa Slava que não mostra comportamento de linearidade.

Na análise da produtividade industrial todas as cultivares demonstraram comportamento linear significativo, mostrando que a cada aplicação de fungicida a produtividade industrial de grãos sofre um incremento de 291, 340 e 248 kg ha^{-1} nas cultivares Altiva, Taura e Fapa Slava, respectivamente. Tanto a análise do conteúdo de amido, proteína e fibra nos grãos de aveia não evidenciaram tendência de linearidade pelo efeito do número de aplicação de fungicida.

Na análise da contribuição relativa da área foliar necrosada e dos componentes de produtividade e qualidade de grãos pelas condições de uso do fungicida para a cultivar Altiva, as variáveis produtividade de grãos e número de grãos maiores que dois milímetros mostram as maiores alterações frente às modificações do manejo do agroquímico. Comportamento semelhante é observado para estas variáveis para a cultivar Taura, em que mostraram valores ainda maiores de alteração pelas condições de uso de fungicida. Para a cultivar Fapa Slava há um maior número de variáveis sensíveis ao manejo do fungicida, com destaque a área foliar necrosada, massa de mil grãos, massa do hectolitro, produtividade industrial e o amido, o que sugere que a cultivar é mais sensível ao manejo do fungicida em relação às demais cultivares.

O manejo do fungicida tem influência direta sobre o controle das doenças foliares e diminuição da área foliar necrosada. Além disto, as aplicações de fungicida influenciam em caracteres ligadas à produtividades e qualidade de grãos de aveia (HAIGH; BRADSHAW, 1998; UARROTA et al., 2017). A análise de contribuição relativa permite conhecer as características ou componentes que possuem maior sensibilidade frente à variação de efeitos genéticos e ambientais (MANTAI et al., 2016b). Da Silva et al. (2006) através da análise da contribuição relativa estimaram quais os caráteres que mais contribuem para a dissimilaridade genética encontrada entre as cultivares de aveia avaliadas em cultivo hidropônico. Benitez et al. (2011) utilizaram a análise da contribuição relativa para verificação das variáveis que possuem maior contribuição para a divergência genética entre cultivares de arroz. De Souza Luche et al. (2017) realizaram a análise da contribuição relativa para verificação de quais variáveis ligadas à espiga do trigo possuem as maiores contribuições para a divergência genética entre as cultivares consideradas. Mantai et al. (2021b) pela análise da contribuição relativa verificaram quais indicadores de qualidade industrial de grãos de aveia são mais sensíveis as modificações do manejo do nitrogênio em diferentes sistemas de cultivo. Pansera et al. (2022) realizaram a análise de contribuição relativa das doses de nitrogênio sobre os componentes da espiga do trigo em diferentes formas de fornecimento do nutriente, como também, a análise de contribuição relativa do fornecimento único e fracionado de nitrogênio sobre componentes da espiga do trigo nas diferentes doses do nutriente.

Na Tabela 22, na análise de correlação e trilha se observa a forte correlação negativa existente entre a área foliar necrosada com a produtividade de grãos. As elevadas correlações negativas, independente de cultivar e condição de uso do fungicida, mostram o quanto que o aumento da área foliar necrosada interfere na redução da produtividade de grãos. Destaca-se que à medida que ocorrem as aplicações de fungicida há uma redução desta tendência de correlação, o que se observa pelo controle do fungicida em relação à necrose foliar. Contudo, na cultivar Altiva, alta correlação negativa na ausência de fungicida, vem de elevado efeito direto negativo da área foliar necrosada e elevado efeito indireto negativo da produtividade industrial. Destaca-se que estas mesmas configurações são observadas nas demais condições de uso do agroquímico. Na cultivar Taura, também se observa elevadas correlações que mostram elevado efeito indireto negativo pela produtividade industrial e direto negativo pela área foliar necrosada. Entretanto, para a condição de três aplicações de fungicida são observados elevados efeitos indiretos negativos via produtividade industrial e amido. Para a cultivar Fapa Slava as correlações mostram elevado efeito indireto negativo via massa do hectolitro e para a condição de três aplicações além do efeito negativo da massa do hectolitro também se destaca o efeito indireto negativo da produtividade industrial e do amido.

Na correlação da produtividade de grãos com a massa de mil grãos se observa correlação positiva significativa apenas na condição de ausência de fungicida e com uma aplicação para a cultivar Altiva. Destaca-se que nas correlações detectadas há um elevado efeito indireto positivo via produtividade industrial e da área foliar necrosada. As demais cultivares Taura e Fapa Slava não apresentaram correlações significativas entre a produtividade e a massa de mil grãos. Possivelmente este fato se explica pela cultivar Altiva apresentar maior massa de mil grãos em relação as demais cultivares analisadas. Na correlação entre a produtividade de grãos e a massa do hectolitro se observa em todas as condições e cultivares correlações significativas e positivas. Na cultivar Altiva, na condição de ausência e uma aplicação de fungicida observa-se elevado efeito indireto positivo da área foliar necrosada e produtividade industrial e nas demais condições maior efeito indireto é apresentado somente pela produtividade industrial. Para a cultivar Taura, também se verifica nas condições de ausência e uma aplicação de fungicida elevado efeito indireto via produtividade industrial e área foliar necrosada, porém com considerável efeito direto da massa do hectolitro. Nas condições de duas aplicações do agroquímico a cultivar Taura mostra elevado efeito indireto via produtividade industrial, massa de mil grãos, índice de descasque e amido, o que não ocorre na condição de três aplicações em que os maiores efeitos indiretos são observados para a produtividade industrial e área foliar necrosada. Na cultivar Fapa Slava considerada a de maior suscetibilidade às doenças, as correlações observadas mostram que há um elevado efeito direto via massa do hectolitro e indireto via área foliar necrosada. Destaca-se que nas condições de duas e três aplicações é observado efeito indireto via produtividade industrial.

Tabela 22: Correlação e trilha dos indicadores da produtividade, qualidade industrial e química de grãos de aveia com a produtividade de grãos nas condições de uso do fungicida.

Efeito	Altiva				Taura				Fapa Slava			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020)											
r (PGxAFN)	-0,92*	-0,90*	-0,88*	-0,81*	-0,93*	-0,78*	-0,61*	-0,56*	-0,90*	-0,90*	-0,93*	-0,83*
D:AFN	-0,44	-0,41	-0,19	0,06	-0,32	-0,19	-0,20	-0,07	-0,16	-0,29	-0,35	-0,16
I:MMG	0,07	0,14	0,08	-0,10	0,02	0,07	0,05	0,11	-0,04	-0,08	0,03	0,06
I:MH	0,03	0,03	-0,04	-0,09	-0,25	-0,16	-0,14	0,01	-0,23	-0,18	-0,20	-0,14
I:ID	-0,14	-0,01	-0,11	-0,01	-0,02	0,03	0,00	-0,07	-0,10	-0,02	0,01	0,05
I:NG>2mm	-0,01	0,07	0,00	0,03	0,05	0,00	0,01	0,00	-0,17	-0,14	-0,08	0,00
I:PI	-0,39	-0,66	-0,30	-0,61	-0,35	-0,31	-0,29	-0,38	-0,04	0,00	-0,17	-0,29
I:AM	-0,01	0,00	-0,05	-0,04	-0,08	-0,22	0,00	-0,21	0,04	-0,02	-0,04	-0,20
I:PT	0,02	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,05	0,00	0,02	-0,09	-0,16	-0,09	0,00
I:FT	-0,02	-0,04	-0,23	-0,01	0,03	-0,04	-0,03	0,02	-0,11	0,00	-0,03	-0,15
r (PGxMMG)	0,53*	0,61*	0,34	0,52	0,33	0,29	0,29	0,44	0,20	0,13	0,17	0,27
D:MMG	-0,11	-0,18	0,19	-0,11	-0,04	-0,10	-0,18	-0,08	0,09	0,17	-0,06	-0,09
I:AFN	0,29	0,33	-0,03	0,15	0,16	0,14	0,04	0,11	0,07	0,15	0,15	0,10
I:MH	-0,04	-0,03	0,12	0,05	0,19	0,14	-0,02	0,18	0,22	0,16	0,15	0,15
I:ID	0,14	0,33	-0,14	0,01	0,02	0,02	0,18	0,00	-0,11	-0,06	-0,10	0,01
I:NG>2mm	0,02	-0,13	-0,21	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00	-0,21	-0,11	-0,08	-0,01
I:PI	0,25	0,53	0,36	0,20	0,11	0,12	0,30	0,23	0,10	0,00	0,11	0,26
I:AM	-0,01	0,00	0,04	0,05	0,01	0,02	0,08	-0,02	0,05	-0,03	-0,04	-0,11
I:PT	-0,02	0,02	-0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,09	0,01	-0,15	-0,13	0,15	0,01
I:FT	0,02	0,04	0,00	0,17	-0,05	0,00	-0,01	0,03	0,16	-0,01	-0,10	-0,05
r (PGxMH)	0,65*	0,70*	0,63*	0,65*	0,85*	0,72*	0,55*	0,76*	0,68*	0,64*	0,77*	0,59*
D:MH	-0,04	-0,03	0,14	0,08	0,26	0,17	-0,02	0,20	0,27	0,20	0,23	0,16
I:AFN	0,32	0,37	-0,04	0,09	0,31	0,18	0,10	0,14	0,14	0,26	0,31	0,13
I:MMG	-0,11	-0,17	0,16	-0,06	-0,03	-0,08	-0,17	-0,07	0,07	0,13	-0,04	-0,08
I:ID	0,15	0,03	-0,08	0,21	0,02	0,01	0,15	-0,02	0,02	0,00	-0,01	-0,01
I:NG>2mm	0,01	-0,10	-0,09	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,01	-0,04	-0,01
I:PI	0,30	0,56	0,51	0,25	0,32	0,32	0,46	0,46	0,08	0,00	0,23	0,31
I:AM	0,02	0,00	0,03	0,00	0,05	0,15	0,15	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
I:PT	-0,03	0,00	-0,07	0,00	0,01	-0,05	-0,10	0,01	-0,03	0,04	0,11	0,01
I:FT	0,02	0,04	0,07	0,06	-0,05	0,02	-0,02	0,04	0,14	0,00	-0,03	0,05
r (PGxID)	0,76*	0,33	-0,31	0,70*	0,43	0,11	0,27	0,25	-0,56*	-0,44	-0,05	-0,50
D:ID	0,16	0,07	-0,19	0,28	0,03	0,19	0,24	0,24	-0,22	-0,11	-0,18	0,08
I:AFN	0,39	0,10	0,00	0,07	0,19	-0,03	0,02	0,00	-0,07	-0,05	0,02	-0,07
I:MMG	-0,10	-0,08	0,14	0,00	-0,03	-0,01	-0,14	0,00	0,04	0,09	-0,03	-0,01
I:MH	-0,04	-0,01	0,06	0,06	0,20	0,01	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,01	-0,02
I:NG>2mm	0,00	0,00	-0,17	0,00	-0,05	0,00	0,00	-0,02	-0,26	-0,12	0,08	0,00
I:PI	0,33	0,23	-0,13	0,24	0,17	0,09	0,27	0,11	0,03	0,00	-0,10	-0,15
I:AM	0,02	0,00	0,00	-0,02	-0,03	-0,11	-0,02	0,02	0,06	-0,03	-0,01	-0,18
I:PT	-0,04	0,10	0,00	0,01	0,02	0,04	-0,08	-0,01	-0,18	-0,21	0,23	-0,01
I:FT	0,02	0,00	0,00	0,02	-0,08	-0,07	0,00	-0,09	0,07	-0,01	-0,09	-0,14
r (PGxNG>2mm)	0,38	0,25	-0,18	-0,09	-0,23	0,07	0,18	0,08	-0,67*	-0,75*	-0,36	-0,15
D:NG>2mm	0,05	-0,20	-0,35	0,00	0,09	-0,01	0,01	0,03	-0,43	-0,31	-0,27	-0,03
I:AFN	0,07	0,15	0,00	-0,02	-0,17	0,00	-0,01	-0,07	-0,06	-0,13	-0,10	-0,01
I:MMG	-0,04	-0,11	0,11	-0,02	0,02	0,00	-0,04	0,01	0,04	0,06	-0,02	-0,03
I:MH	-0,01	-0,01	0,03	0,01	-0,15	0,03	-0,01	0,03	0,02	-0,01	0,03	0,03
I:ID	0,01	0,00	-0,09	-0,09	-0,02	-0,04	0,00	-0,17	-0,14	-0,05	0,05	0,01
I:PI	0,23	0,35	0,09	0,04	-0,01	0,13	0,31	0,18	0,07	0,00	0,15	0,41
I:AM	-0,02	0,00	0,07	0,07	-0,05	-0,04	0,04	0,01	0,08	-0,04	-0,07	-0,30
I:PT	0,08	0,08	-0,03	-0,06	-0,01	-0,04	-0,10	0,01	-0,26	-0,26	-0,03	0,00
I:FT	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,04	-0,02	0,05	0,04	0,00	-0,09	-0,23

r (PGxPI)	0,98*	0,96*	0,94*	0,97*	0,97*	0,96*	0,96*	0,97*	0,11	0,06	0,60*	0,58*
D:PI	0,44	0,72	0,70	0,36	0,41	0,45	0,77	0,64	0,11	-0,01	0,29	0,57
I:AFN	0,38	0,35	-0,05	0,16	0,27	0,13	0,04	0,09	0,06	0,12	0,20	0,08
I:MMG	-0,06	-0,13	0,09	-0,06	-0,01	-0,03	-0,07	-0,03	0,08	0,11	-0,02	-0,04
I:MH	-0,03	-0,02	0,10	0,06	0,20	0,12	-0,01	0,14	0,21	0,13	0,18	0,08
I:ID	0,12	0,02	0,03	0,19	0,01	0,04	0,08	0,04	-0,07	0,00	0,06	-0,03
I:NG>2mm	0,02	-0,10	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,27	-0,18	-0,14	-0,02
I:AM	0,03	0,00	0,05	0,05	0,06	0,22	0,17	0,03	0,06	-0,01	-0,02	-0,05
I:PT	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	-0,01	-0,04	0,01	-0,17	-0,08	0,07	0,00
I:FT	0,01	0,03	0,01	0,17	0,00	0,02	-0,01	0,01	0,11	0,00	-0,04	-0,05
r (PGxAM)	-0,32	0,43	0,30	0,36	-0,55*	-0,82*	-0,72*	-0,42	-0,58*	-0,68*	-0,69*	-0,50
D:AM	-0,12	0,00	0,09	0,11	-0,14	-0,32	-0,25	-0,07	0,09	-0,05	-0,40	-0,08
I:AFN	-0,07	0,22	-0,03	0,09	-0,17	-0,14	-0,06	-0,01	-0,07	-0,13	-0,08	-0,15
I:MMG	-0,01	-0,13	0,09	-0,04	0,00	0,01	0,06	-0,02	0,05	0,09	-0,02	-0,03
I:MH	0,00	-0,01	0,04	0,00	-0,08	-0,08	0,01	-0,01	0,02	0,00	-0,01	-0,01
I:ID	-0,03	0,00	0,00	-0,05	0,01	0,07	0,02	-0,07	-0,15	-0,07	0,05	-0,02
I:NG>2mm	0,01	-0,16	-0,29	0,00	0,03	0,00	0,00	-0,01	-0,39	-0,23	-0,02	-0,20
I:PI	-0,12	0,45	0,40	0,18	-0,17	-0,32	-0,52	-0,30	0,07	0,00	0,07	0,05
I:PT	0,00	0,06	-0,02	-0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,26	-0,28	0,01	0,05
I:FT	0,02	0,04	0,01	0,12	-0,03	-0,04	0,01	0,07	0,06	-0,01	-0,26	-0,13
r (PGxPT)	-0,09	-0,08	0,19	0,10	0,11	-0,15	-0,08	-0,40	-0,61*	-0,82*	0,32	-0,14
D:PT	-0,10	-0,10	0,04	0,07	0,05	0,08	0,14	-0,01	-0,27	-0,30	0,32	-0,03
I:AFN	0,10	0,00	-0,01	0,02	0,04	-0,12	-0,01	0,00	-0,06	-0,16	0,10	-0,02
I:MMG	-0,03	0,05	-0,04	0,01	0,01	0,05	0,12	0,04	0,05	0,07	-0,03	0,02
I:MH	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,03	-0,10	0,01	-0,13	0,03	-0,02	0,08	-0,06
I:ID	0,07	0,00	0,03	0,05	0,01	0,10	-0,13	0,11	-0,15	-0,08	-0,13	0,03
I:NG>2mm	-0,04	0,17	0,25	0,00	-0,01	0,01	-0,01	-0,02	-0,42	-0,27	0,03	0,00
I:PI	-0,08	-0,20	-0,01	-0,04	0,06	-0,07	-0,23	-0,33	0,07	0,00	0,06	-0,07
I:AM	0,00	0,00	-0,04	-0,08	-0,05	-0,04	-0,01	-0,01	0,08	-0,05	-0,01	0,06
I:FT	0,02	-0,08	0,00	0,06	-0,04	-0,07	0,03	-0,04	0,07	-0,01	-0,10	-0,08
r (PGxFT)	-0,26	-0,65*	-0,55*	-0,74*	-0,09	0,26	0,02	0,02	-0,40	0,31	0,28	0,47
D:FT	-0,04	-0,05	-0,01	-0,25	0,09	0,09	-0,06	0,11	-0,19	0,01	0,16	0,19
I:AFN	-0,22	-0,33	0,05	-0,17	-0,12	0,08	0,02	0,05	-0,09	-0,01	0,07	0,08
I:MMG	0,08	0,13	-0,09	0,07	0,02	0,00	-0,02	-0,02	-0,07	-0,14	0,04	0,01
I:MH	0,02	0,02	-0,05	-0,02	-0,15	0,04	-0,01	0,07	-0,20	-0,08	-0,04	0,03
I:ID	-0,10	0,00	0,00	-0,02	-0,03	-0,14	0,02	-0,20	0,08	0,09	0,10	-0,06
I:NG>2mm	0,00	0,07	0,14	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,08	0,17	0,16	0,03
I:PI	-0,12	-0,48	-0,42	-0,24	0,00	0,11	0,09	0,03	-0,06	0,00	-0,07	-0,09
I:AM	0,07	0,00	-0,07	-0,05	0,05	0,13	0,06	-0,04	-0,03	0,04	0,07	0,26
I:PT	0,05	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,06	-0,09	0,01	0,09	0,23	-0,21	0,01
Valor k	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}2e^{-2}$	$5{,}2e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$
R^2 (%)	97	95	94	97	98	97	95	96	97	98	97	96

r: valor da correlação; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; D: contribuição direta; I: contribuição indireta; R^2: coeficiente de determinação; k: coeficiente de linearização; AFN: área foliar necrosada (%); MMG: massa de mil grãos (g); MH: massa do hectolitro (kg hl^{-1}); PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); ID: índice de descasque; NG>2mm: número de grãos maiores que 2 milímetros (%); PI: produtividade industrial (kg ha^{-1}); AM: amido (g kg^{-1}); PT: proteína total (g kg^{-1}); FT: fibra total (g kg^{-1}); DAE: dias após a emergência; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE.

Na correlação da produtividade de grãos e índice de descasque foi observado tendência de correlação na ausência de fungicida nas cultivares Altiva e Fapa Slava e na condição de três aplicações somente na cultivar Altiva. Destaca-se que o aumento do índice de descasque na cultivar Altiva ocasiona um aumento da produtividade de grãos, enquanto que para a cultivar Fapa Slava é observado

o comportamento oposto, em que para o aumento do índice de descasque há uma redução da produtividade de grãos. Para a cultivar Altiva, nas condições onde foram observadas correlações significativas se observa que na condição sem uso de fungicida há um elevado efeito indireto via área foliar necrosada, e produtividade industrial. Para a condição com três aplicações é observado efeito indireto via produtividade industrial e elevado efeito direto via índice de descasque. Para a cultivar Fapa Slava, na condição em que houve significância de correlação, observa-se elevado efeito direto da variável índice de descasque, e efeito indireto via número de grãos maiores que dois milímetros e proteína.

Na análise da correlação entre a produtividade de grãos e número de grãos maiores que dois milímetros observa-se que nas cultivares Altiva e Taura não há relação linear significativa entre estas variáveis. Para a cultivar Fapa Slava, ocorrem correlações significativas nas condições de sem uso de fungicida e com uma aplicação. Estas correlações possuem forte efeito direto negativo via número de grãos maiores que dois milímetros e efeito indireto via proteína total.

A correlação observada entre produtividade de grãos e produtividade industrial já era previsível, visto que a produtividade industrial depende ou é reflexo da produtividade de grãos, mas estas elevadas correlações foram observadas somente para as cultivares Altiva e Taura. Destaca-se que esta correlação tem elevado efeito direto via produtividade industrial e efeito indireto positivo via área foliar necrosada, nas condições de sem uso e uma aplicação do fungicida. Na cultivar Fapa Slava correlações significativas foram observadas apenas nas condições de maior uso do fungicida, também mostrando uma grande contribuição direta da produtividade industrial. Nesta cultivar, na condição de duas aplicações há um efeito indireto da massa do hectolitro e número de grãos maiores que dois milímetros.

Analisando a correlação da produtividade de grãos com o conteúdo de amido dos grãos de aveia se observa uma correlação negativa nas cultivares Taura e Fala Slava. Na cultivar Taura são observados elevados efeitos diretos via amido e efeitos indiretos via área foliar necrosada e produtividade de grãos. Para a cultivar Fapa Slava, nas condições de sem e uma aplicação do fungicida, maiores efeitos indiretos são observados pela produtividade industrial e proteína total. Já na condição de duas aplicações elevado efeito direto é observado juntamente com considerável efeito indireto via fibra total. Na análise da correlação entre a produtividade e a proteína total nos grãos de aveia não são observadas correlações significativas nas cultivares Altiva e Taura. Entretanto, na cultivar Fapa Slava são observadas correlações significativas nas condições de ausência e uma aplicação do fungicida. Nestas condições são observados elevados efeitos diretos da proteína total sobre a produtividade e elevados efeitos indiretos via número de grãos maiores que dois milímetros. Na análise de correlação entre a produtividade de grãos e o conteúdo de fibra total nos grãos de aveia, correlações significativas foram observadas apenas na cultivar Altiva e somente nas condições de uso

do fungicida. Todas demostraram relações negativas, indicando que o aumento da fibra reduz a produtividade de grãos. Nesta configuração ocorre um efeito indireto via área foliar necrosada e produtividade industrial nas condições de uma e três aplicações de fungicida e para a condição de duas aplicações ocorre efeito indireto da produtividade industrial e do número de grãos maiores que dois milímetros.

De modo geral, se percebe que a produtividade possui uma forte correlação negativa com a área foliar necrosada e o amido e uma forte correlação positiva com a massa do hectolitro e a produtividade industrial. A área foliar necrosada possui elevado efeito direto na correlação com a produtividade de grãos e também possui elevado efeito indireto na maioria das demais correlações. As relações entre as variáveis na condição em que não ocorre o uso do fungicida e na condição de uma aplicação tentem a ser semelhantes, havendo algumas alterações nestas relações à medida que um número maior de fungicida é utilizado. Além disto, as relações entre as variáveis variam em alguns casos entre as cultivares, evidenciando a dissimilaridade e características especificas existente entre elas.

Na análise de correlação e trilha envolvendo como variável principal a área foliar necrosada se observa que o aumento da área foliar necrosada interfere diretamente de forma negativa sobre a massa de mil grãos, independente da cultivar e uso do fungicida. Para a cultiva Altiva, na condição sem uso de fungicida, se percebe que a redução da massa de mil grãos provem de um grande efeito indireto via produtividade de grãos e índice de descasque. Na condição de uma aplicação é observado considerável efeito direto da massa de mil grãos e efeito indireto da massa do hectolitro, da produtividade de grãos e da produtividade industrial. Na condição de duas aplicações há um elevado efeito indireto via massa do hectolitro, índice de descasque e fibra total. Na condição com três aplicações, há um elevado efeito direto da massa de mil grãos e efeito indireto da produtividade de grãos, amido e fibra total. Para a cultivar Taura, as correlações possuem elevado efeito direto da massa de mil grãos e efeito indireto via massa do hectolitro na maioria das condições, fato também observado para a cultivar Fapa Slava.

Na análise da correlação da área foliar necrosada com a massa do hectolitro, também era esperado correlações negativas e significativas para todas as cultivares e condições de uso do fungicida. Na cultivar Altiva, na condição sem uso de fungicida, observa-se elevado efeito indireto via produtividade de grãos, índice de descasque e produtividade industrial. Na condição de uma aplicação, é observado elevado efeito direto via massa do hectolitro e efeito indireto via massa de mil grãos, produtividade de grãos e produtividade industrial. Com duas aplicações, elevado efeito direto da massa do hectolitro é observada, juntamente com efeito indireto via fibra total. Na condição de maior uso de fungicida observa-se elevado efeito indireto via massa de mil grãos. Na análise da cultivar Taura é observado elevado efeito direto da massa do hectolitro em todas as condições de uso do fungicida. Na condição sem o uso de fungicida observa-se elevado efeito indireto via

produtividade de grãos, sendo que nas demais condições ocorrem elevados efeitos indiretos via massa de mil grãos. Na cultivar Fapa Slava as elevadas correlações mostram efeito direto via massa do hectolitro em todas as condições de uso de fungicida e efeito indireto via massa de mil grãos e produtividade de grãos na maioria das condições.

A área foliar necrosada mostra forte e significativa correlação negativa com a produtividade de grãos, em todas as condições de uso do fungicida como já relatado e grande contribuição direta via produtividade de grãos ou via indireta pela massa do hectolitro, na maioria das condições de uso do fungicida e em todas as cultivares. Na análise da correlação entre a área foliar necrosada e o índice de descasque evidencia-se significância desta relação somente na condição sem utilização de fungicida nas três cultivares. Para a cultivar Altiva esta relação provem do efeito direto do próprio índice de descasque e também do efeito indireto da produtividade de grãos e produtividade industrial. Para a cultivar Taura a correlação provem, principalmente do efeito indireto via massa do hectolitro. Na cultivar Fapa Slava se observa efeito direto do índice de descasque e efeito indireto do conteúdo de amido dos grãos de aveia.

Na análise da correlação entre a área foliar necrosada com o número de grãos maiores que dois milímetros não é verificada nenhuma relação significativa. Já as correlações entre área foliar necrosada e a produtividade industrial são observadas relações significativas em todas as condições de aplicação do fungicida na cultivar Altiva e somente nas condições de ausência e uma aplicação na cultivar Taura. Para cultivar Altiva, verifica-se elevado efeito direto da produtividade industrial em todas as condições de uso do fungicida. Entretanto, na condição de uma aplicação há efeitos indiretos da produtividade de grãos e índice de descasque, o que não é observado na condição de duas aplicações em que os maiores efeitos indiretos são provenientes da massa do hectolitro e da fibra total. Na condição de três aplicações os maiores efeitos indiretos são observados pela massa de mil grãos, produtividade de grãos e fibra total. Para a cultivar Taura ocorre um elevado efeito direto via produtividade industrial e efeito indireto via massa do hectolitro e produtividade de grãos.

Na análise da correlação entre a área foliar necrosada e o conteúdo de amido nos grãos de aveia, foi detectado significância desta relação somente na cultivar Taura, e somente nas condições de ausência e com uma e duas aplicações de fungicida, causado principalmente pelo efeito direto via amido e efeito indireto da massa do hectolitro. Destaca-se que o efeito indireto via produtividade de grãos também foi observado nas condições de ausência e uma aplicação do fungicida. Não foi observado nenhuma correlação significativa entre a área foliar necrosada com o conteúdo de proteína nos grãos de aveia e na relação entre a área foliar necrosada com fibra total foram observadas correlações significativas somente nas condições de fungicida para a cultivar Altiva. Esta correlação possui forte efeito direto via fibra total e efeito indireto via massa do hectolitro na condição de uma e duas aplicações de fungicida e via massa de mil grãos na condição de três aplicações.

Tabela 23: Correlação e trilha dos indicadores de produtividade, qualidade industrial e química de grãos de aveia com a área foliar necrosada nas condições de uso do fungicida.

Efeito	Altiva				Taura				Fapa Slava			
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3	SF	CF_1	CF_2	CF_3
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020)											
r (AFNxMMG)	-0,65*	-0,81*	-0,53*	-0,76*	-0,50*	-0,72*	-0,60*	-0,55*	-0,54*	-0,53*	-0,52*	-0,65*
D:MMG	-0,07	-0,15	0,00	-0,34	0,10	-0,29	-0,26	-0,21	-0,17	-0,20	-0,31	-0,41
I:MH	0,02	-0,28	-0,44	0,00	-0,25	-0,24	-0,31	-0,39	-0,29	-0,30	-0,31	-0,35
I:PG	-0,30	-0,19	0,03	-0,11	-0,11	-0,05	-0,02	-0,14	-0,03	-0,04	-0,06	-0,04
I:ID	-0,26	0,06	0,18	0,00	0,05	0,01	0,02	-0,01	0,16	-0,03	-0,03	0,05
I:NG>2mm	0,09	-0,04	-0,01	0,07	-0,10	0,00	0,08	-0,04	-0,05	0,06	0,04	0,01
I:PI	-0,17	-0,21	-0,09	-0,09	-0,07	-0,03	0,02	-0,01	-0,03	-0,09	-0,05	-0,01
I:AM	-0,03	0,05	-0,02	-0,11	-0,01	-0,02	-0,17	0,09	0,27	0,12	0,09	0,04
I:PT	-0,01	0,04	0,06	0,00	-0,02	-0,10	0,08	0,25	0,00	0,07	0,02	0,05
I:FT	0,07	-0,09	-0,24	-0,18	-0,10	0,00	-0,02	-0,09	-0,30	-0,07	0,09	0,02
r (AFNxMH)	-0,73*	-0,90*	-0,67*	-0,49*	-0,95*	-0,93*	-0,75*	-0,68*	-0,84*	-0,88*	-0,88*	-0,86*
D:MH	0,03	-0,29	-0,52	0,01	-0,36	-0,28	-0,34	-0,44	-0,33	-0,37	-0,37	-0,38
I:MMG	-0,06	-0,14	0,00	-0,21	0,07	-0,24	-0,24	-0,18	-0,12	-0,16	-0,18	-0,38
I:PG	-0,37	-0,21	0,05	-0,14	-0,29	-0,13	-0,03	-0,25	-0,11	-0,19	-0,25	-0,08
I:ID	-0,29	0,06	0,10	-0,02	0,06	0,00	0,02	-0,05	-0,02	0,00	0,00	-0,04
I:NG>2mm	0,06	-0,03	0,00	0,04	-0,10	0,03	0,13	0,09	-0,01	-0,01	0,02	0,01
I:PI	-0,20	-0,22	-0,12	-0,12	-0,19	-0,08	0,02	-0,01	-0,03	-0,09	-0,11	-0,01
I:AM	0,05	0,04	-0,01	-0,01	-0,03	-0,10	-0,31	-0,02	0,04	0,00	-0,01	-0,01
I:PT	-0,01	0,01	0,04	0,00	0,01	-0,11	0,08	0,32	0,00	-0,02	0,01	0,07
I:FT	0,06	-0,09	-0,18	-0,07	-0,09	-0,02	-0,08	-0,11	-0,24	-0,03	0,02	-0,02
r (AFNxPG)	-0,92*	-0,90*	-0,88*	-0,81*	-0,93*	-0,78*	-0,61*	-0,56*	-0,90*	-0,90*	-0,93*	-0,83*
D:PG	-0,56	-0,30	-0,21	0,07	-0,34	-0,18	-0,32	-0,06	-0,17	-0,30	-0,32	-0,14
I:MMG	-0,04	-0,09	-0,18	0,00	0,03	-0,08	-0,09	-0,08	-0,03	-0,03	-0,05	-0,11
I:MH	0,02	-0,21	0,00	-0,33	-0,30	-0,20	-0,34	-0,17	-0,23	-0,24	-0,29	-0,23
I:ID	-0,24	0,04	-0,02	-0,08	0,03	0,01	0,12	0,01	-0,15	0,02	0,00	-0,19
I:NG>2mm	0,10	-0,01	-0,03	0,00	-0,04	0,01	0,05	0,07	0,07	-0,11	-0,05	-0,01
I:PI	-0,30	-0,28	-0,16	-0,16	-0,23	-0,10	-0,02	0,04	0,00	-0,01	-0,09	-0,01
I:AM	0,08	0,03	-0,09	-0,01	-0,06	-0,17	-0,18	-0,38	-0,25	-0,14	-0,10	-0,11
I:PT	0,00	0,01	0,00	-0,05	0,01	-0,03	0,20	0,01	0,00	-0,10	0,01	0,03
I:FT	0,03	-0,08	-0,19	-0,26	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,14	0,02	-0,04	-0,07
r (AFNxID)	-0,89*	-0,25	0,09	-0,38	-0,57*	0,17	-0,28	-0,01	0,54*	0,18	-0,06	0,49
D:ID	-0,31	0,13	0,24	-0,02	0,07	0,07	0,03	0,46	0,32	-0,05	-0,04	0,29
I:MMG	-0,06	-0,07	0,00	-0,02	0,07	-0,03	-0,19	0,00	-0,07	-0,11	-0,15	-0,06
I:MH	0,02	-0,14	-0,22	0,01	-0,27	-0,01	-0,21	0,04	0,03	0,00	-0,02	0,05
I:PG	-0,43	-0,10	-0,02	-0,15	-0,14	-0,02	-0,02	-0,08	0,10	0,14	0,02	0,09
I:NG>2mm	0,02	0,00	0,00	-0,09	-0,11	-0,04	0,00	-0,38	-0,06	0,06	-0,04	0,01
I:PI	-0,22	-0,10	0,03	-0,11	-0,10	-0,02	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,05	0,00
I:AM	0,05	0,01	0,00	0,04	0,02	0,07	0,05	-0,12	0,36	0,13	0,02	0,09
I:PT	-0,02	0,02	0,05	-0,01	0,02	0,09	0,07	-0,23	-0,01	0,09	0,03	-0,06
I:FT	0,07	-0,01	0,01	-0,02	-0,15	0,06	-0,02	0,27	-0,12	-0,07	0,08	0,06
r (AFNxNG>2mm)	-0,15	-0,37	-0,09	0,11	0,43	-0,01	0,15	0,34	0,38	0,45	0,29	0,07
D:NG>2mm	0,26	-0,06	-0,01	0,29	0,15	0,18	0,38	0,55	-0,10	0,15	0,14	0,04
I:MMG	-0,02	-0,10	0,00	-0,09	-0,05	0,00	-0,05	0,02	-0,07	-0,07	-0,08	-0,15
I:MH	0,01	-0,14	-0,13	0,00	0,15	-0,05	-0,12	-0,07	-0,02	0,02	-0,06	-0,07
I:PG	-0,22	-0,08	-0,01	0,02	0,08	-0,01	-0,01	-0,03	0,11	0,23	0,12	0,02
I:ID	-0,02	0,00	0,12	0,01	-0,04	-0,02	0,00	-0,32	0,16	-0,02	0,01	0,04
I:PI	-0,16	-0,14	-0,02	-0,02	0,01	-0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,08	-0,07	-0,01
I:AM	-0,05	0,06	-0,03	-0,15	0,03	0,02	-0,08	-0,09	0,40	0,16	0,15	0,12
I:PT	0,03	0,13	0,18	0,03	-0,01	-0,08	0,08	0,40	-0,01	0,11	0,00	0,00
I:FT	0,00	-0,04	-0,19	0,01	0,11	-0,03	-0,08	-0,14	-0,06	-0,04	0,08	0,08

r (AFNxPI)	-0,87*	-0,91*	-0,87*	-0,83*	-0,84*	-0,68*	-0,49	-0,45	-0,35	-0,39	-0,47	-0,48
D:PI	-0,30	-0,29	-0,17	-0,17	-0,24	-0,11	0,04	-0,02	-0,03	-0,13	-0,14	-0,01
I:MMG	-0,04	-0,11	0,00	-0,19	0,03	-0,07	-0,10	-0,07	-0,13	-0,13	-0,10	-0,17
I:MH	0,02	-0,23	-0,38	0,00	-0,28	-0,20	-0,20	-0,32	-0,27	-0,25	-0,25	-0,20
I:PG	-0,55	-0,29	0,07	-0,20	-0,33	-0,17	-0,06	-0,32	-0,02	-0,02	-0,18	-0,08
I:ID	-0,23	0,04	-0,05	-0,02	0,03	0,01	0,01	0,08	0,08	0,00	0,01	-0,10
I:NG>2mm	0,14	-0,03	0,00	0,03	-0,01	0,05	0,15	0,15	-0,06	0,09	0,05	0,03
I:AM	0,07	0,04	-0,02	-0,12	-0,04	-0,15	-0,35	-0,20	0,28	0,05	0,03	0,02
I:PT	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	-0,03	0,04	0,26	-0,01	0,04	0,01	0,02
I:FT	0,03	-0,09	-0,33	-0,18	0,00	-0,02	-0,03	-0,02	-0,20	-0,03	0,02	0,02
r (AFNxAM)	0,15	-0,48	-0,49	-0,47	0,53*	0,69*	0,84*	0,03	0,40	0,43	0,47	0,49
D:AM	-0,26	0,07	-0,03	-0,24	0,10	0,21	0,52	0,42	0,44	0,21	0,18	0,16
I:MMG	-0,01	-0,10	0,00	-0,15	-0,01	0,02	0,08	-0,05	-0,08	-0,10	-0,12	-0,11
I:MH	0,00	-0,14	-0,17	0,00	0,12	0,13	0,20	0,02	-0,03	0,01	0,01	0,02
I:PG	0,18	-0,13	0,02	-0,08	0,19	0,15	0,05	0,14	0,10	0,21	0,18	0,10
I:ID	0,06	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	-0,14	0,19	-0,03	0,00	0,17
I:NG>2mm	0,05	-0,05	-0,01	0,18	0,06	0,02	-0,06	-0,11	-0,09	0,11	0,12	0,03
I:PI	0,08	-0,17	-0,10	-0,09	0,10	0,08	-0,03	0,01	-0,02	-0,03	-0,03	0,00
I:PT	0,00	0,10	0,13	0,03	0,02	0,02	-0,01	-0,09	-0,01	0,12	0,01	0,03
I:FT	0,06	-0,09	-0,35	-0,12	-0,06	0,03	0,06	-0,20	-0,11	-0,06	0,11	0,09
r (AFNxPT)	-0,22	-0,01	-0,26	-0,14	-0,12	0,49	0,14	-0,01	0,35	0,48	-0,27	0,13
D:PT	-0,04	-0,16	-0,25	-0,04	0,05	0,15	-0,12	-0,49	-0,01	0,12	0,04	-0,20
I:MMG	-0,02	0,04	0,00	0,04	-0,03	0,13	0,17	0,10	-0,08	-0,08	-0,12	0,10
I:MH	0,01	0,01	0,08	0,00	-0,04	0,14	0,23	0,29	-0,03	0,04	-0,13	0,13
I:PG	0,05	0,03	0,01	-0,02	-0,04	0,03	0,01	0,13	0,10	0,23	-0,11	0,02
I:ID	-0,14	-0,01	-0,05	0,00	0,03	0,04	-0,02	0,22	0,18	-0,04	-0,03	0,08
I:NG>2mm	-0,21	0,05	0,01	-0,24	-0,03	-0,08	-0,27	-0,44	-0,10	0,13	-0,01	0,00
I:PI	0,06	0,08	0,00	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,01	-0,02	-0,03	-0,03	0,00
I:AM	0,00	-0,05	0,02	0,17	0,04	0,01	0,03	0,07	0,42	0,20	0,03	-0,02
I:FT	0,06	-0,01	-0,08	-0,06	-0,07	0,06	0,14	0,12	-0,11	-0,06	0,09	0,03
r (AFNxFT)	0,49	0,81*	0,84*	0,90*	0,36	-0,41	-0,29	-0,26	0,48	0,05	-0,20	-0,48
D:FT	-0,11	0,13	0,47	0,26	0,17	-0,08	-0,23	-0,33	0,30	0,08	-0,14	-0,10
I:MMG	0,05	0,11	0,00	0,23	-0,06	0,01	-0,03	-0,05	0,12	0,17	0,17	0,07
I:MH	-0,01	0,21	0,20	0,00	0,20	-0,07	-0,12	-0,15	0,20	0,15	0,06	-0,07
I:PG	0,15	0,20	-0,04	0,15	0,03	-0,05	0,00	-0,01	0,05	-0,09	-0,09	-0,09
I:ID	0,19	-0,01	0,01	0,00	-0,06	-0,05	0,00	-0,38	-0,10	0,05	0,02	-0,18
I:NG>2mm	-0,01	0,02	0,00	0,01	0,14	0,08	0,14	0,23	0,01	-0,08	-0,08	-0,03
I:PI	0,08	0,19	0,12	0,11	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,02	0,05	0,03	0,00
I:AM	0,15	-0,05	0,03	0,11	-0,04	-0,09	-0,13	0,26	-0,15	-0,17	-0,15	-0,13
I:PT	0,02	0,01	0,04	0,01	-0,02	-0,13	0,07	0,18	0,00	-0,10	-0,02	0,06
Valor k	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}2e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}2e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}2e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$	$5{,}0e^{-2}$
R^2 (%)	95	98	95	97	97	98	96	91	96	97	97	97

r: valor da correlação; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; D: contribuição direta; I: contribuição indireta; R²: coeficiente de determinação; k: coeficiente de linearização; AFN: área foliar necrosada (%); MMG: massa de mil grãos (g); MH: massa do hectolitro (kg hl^{-1}); PG: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); ID: índice de descasque; NG>2mm: número de grãos maiores que 2 milímetros (n); PI: produtividade industrial (kg ha^{-1}); AM: amido (g kg^{-1}); PT: proteína total (g kg^{-1}); FT: fibra total (g kg^{-1}); ; DAE: dias após a emergência; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE.

Todas as análises realizadas mostram elevado coeficiente de determinação, mostrando um grande ajuste entre os desdobramentos destas relações e comprovam a confiabilidade do modelo para explicação dos resultados obtidos nestas tabelas.

De modo geral, a área foliar necrosada está mais fortemente correlacionada com indicadores da produtividade e qualidade de grãos de aveia, como a massa de mil grãos, massa do hectolitro, produtividade de grãos e a produtividade industrial. Na maioria dos casos há elevado efeito direto da variável analisada e efeitos indiretos advindos principalmente da produtividade de grão e da massa do hectolitro, caracterizando as variáveis mais influenciadas pela área foliar necrosada. Além disto, estas relações de influência tendem a permanecer as mesmas na maioria das condições de uso do fungicida.

O estudo de correlação entre componentes ligados à produtividade e qualidade de grãos em diferentes cultivos pode favorecer o entendimento das relações e efeitos entre os caracteres e a influência que determinados manejos podem possuir sobre estas relações. Contudo, somente as análises de correlação não são capazes de informar as relações de causa e efeito entre as variáveis explicativas com a principal, sugerindo à decomposição destas relações via análise de trilha. Kavalco et al. (2014) realizaram o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos de variáveis agronômicas sobre o rendimento de grãos de trigo pela análise de trilha, considerando dois ambientes de cultivo. Hawerroth et al. (2015) estimaram as correlações entre caracteres relacionados ao desempenho industrial em cultivares de aveia preta cultivadas em diferentes ambientes e os coeficientes de correlação foram particionados em efeitos diretos e indiretos na produtividade industrial de grãos por meio de análise de trilha, a fim de identificar os caracteres mais importantes que poderiam ser adotados em estratégias de seleção indireta. Mantai et al. (2016b) determinaram as correlações e as relações de efeitos diretos e indiretos dos componentes da panícula de aveia na produtividade de grãos por doses de N-fertilizantes em diferentes sistemas de sucessão. Zuffo et al. (2018) utilizaram a análise de trilha para avaliar a influência de alguns caracteres agronômicos de cultivares de soja, em função de diferentes densidades de planta, e o coeficiente de correlação de Pearson na determinação da contribuição dessas características no rendimento de grãos. Pelegrin et al. (2020) estimaram através da análise de trilha as relações de efeitos diretos e indiretos entre os componentes da produtividade do trigo sob diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. Pansera et al. (2022) pela análise de trilha determinaram os efeitos diretos e indiretos de componentes da espiga do trigo com a produtividade de grãos pela dose em fornecimento único e fracionado de nitrogênio em sistemas de sucessão de alta e reduzida liberação de N-residual.

8.4 Conclusão

Pela regressão linear é identificado que a área foliar necrosada, a produtividade de grãos e de indústria apresentam uma dependência linear em função do número de aplicações de fungicida, independente da cultivar.

A análise de contribuição relativa destaca a produtividade de grãos e o número de grãos maiores que dois milímetros as variáveis mais sensíveis as modificações do manejo do fungicida na cultivar mais resistente às doenças foliares. Na cultivar mais suscetível, a maior modificação pelo manejo de fungicida se dá para a massa de mil grãos, massa do hectolitro, produtividade industrial e o amido.

A produtividade de grãos mostra relação negativa com a área foliar necrosada e positiva com a massa do hectolitro e a produtividade industrial. As relações entre as variáveis na condição em que não ocorre o uso do fungicida e na condição de uma aplicação tentem a ser semelhantes, havendo algumas alterações nestas relações nas condições com maior número de fungicida.

A área foliar necrosada apresenta grande número de correlações significativas negativas com variáveis ligadas a produtividade e qualidade de grãos, principalmente a massa de mil grãos e do hectolitro e produtividade de grãos e de indústria.

9 SIMULAÇÃO DO PROGRESSO DE DOENÇAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA AVEIA COM OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE APLICAÇÃO DO FUNGICIDA E DO MOMENTO DE AVALIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR NECROSADA

9.1 Introdução

A aveia branca (*Avena sativa* L.) tem assumido grande importância como cultura de estação fria no sul do Brasil, representando a segunda maior área cultivada após o trigo (DORNELLES et al., 2018; AZEVEDO et al., 2022). Durante o seu cultivo a aveia é suscetível ao ataque de doenças foliares que podem comprometer o seu desenvolvimento e, consequentemente, a produtividade de grãos. As principais doenças foliares que acometem o cultivo da aveia são a ferrugem da folha e a helmintosporiose (DORNELLES et al., 2021; VILVERT et al., 2021). Ambas são doenças fúngicas, policíclicas e causadas pelos fungos *Puccinia coronata Cda. f. sp. avenae* e *Drechslera avenae (Eidam) El Sharif*, respectivamente (NAZARENO et al., 2018; CHEN et al., 2022).

A ferrugem da folha é a principal moléstia da aveia e o parasita causador da doença sobrevive na lavoura através da infecção de plantas voluntárias que permanecem no campo após à colheita (KIMATI et al., 1997). É uma doença que completa seu ciclo entre 7 a 10 dias, em que a infecção pelo patógeno induz várias mudanças estruturais, bioquímicas e fisiológicas na planta afetando diretamente a produtividade e a qualidade dos grãos. Novas infecções e maior potencial de dano da ferrugem da folha são favorecidos em temperaturas médias próximas à 18 ºC e humidade relativa do ar de aproximadamente 100% (CHAVES; MARTINELLI, 2005; DANIELOWSKI, 2021).

De forma semelhante, o patógeno causador da helmintosporiose sobrevive em restos culturais, sementes infectadas e plantas voluntárias. Os sintomas da doença são manchas foliares largas, elípticas, de coloração amarela, marrom ou roxa. Em condições favoráveis, o fungo avança para as brácteas e panículas, estabelecendo-se nos grãos, onde permanece de um ano para outro. O maior potencial de dano dessa doença ocorre com temperaturas entre 18 e 28 ºC, associado com elevada humidade relativa do ar, particularmente nos estádios finais da cultura (FRANÇA-SILVA et al., 2020; CHEN et al., 2022).

Para amenizar os danos causados pelas doenças foliares sobre o cultivo da aveia, os programas de melhoramento genético têm desenvolvido cultivares mais resistentes (DA SILVA et al., 2015; DORNELLES et al., 2020). No entanto, as doenças foliares não são satisfatoriamente controladas pela resistência genética devido à rápida evolução dos patógenos (MAY; BRANDT; HUTT-TAYLOR, 2020). Deste modo, é fundamental o uso de fungicida para o controle eficaz das doenças foliares no cultivo da aveia. Entretanto, este manejo deve ser feito com cautela, afim de evitar à permanência de resíduos dos agroquímicos nos grãos (DA LUZ et al., 2017; SÁNCHEZ-MARTÍN et al., 2017).

No cultivo da aveia, as variáveis meteorológicas e o manejo do fungicida possuem influência direta sobre o desenvolvimento das principais doenças foliares da cultura, como também, no desenvolvimento das plantas e sobre a produtividade de grãos (KIMATI et al., 1997; DANIELOWSKI, 2021). Logo, o uso destas variáveis pode favorecer à construção de modelos matemáticos eficientes para simulação do progresso da necrose foliar e da produtividade da grãos.

Uma técnica que pode ser utilizada é a da regressão linear múltipla que possibilita o desenvolvimento de modelos de simulação eficientes, possibilitando a combinação de variáveis controladas e não controladas para a realização de simulações e previsões que explicam os efeitos de variáveis independentes sobre uma variável principal (CRUZ, 2006; MANTAI et al., 2016a). Além dela, as redes neurais artificiais que constituem um campo da ciência da computação ligado à inteligência artificial, são capazes de extrair informações referente aos relacionamentos existentes entre as variáveis que influenciam em um determinado evento (DORNELLES et al., 2018; DE MAMANN et al., 2019).

A eficiência de simulação dos modelos matemáticos está associada à escolha das variáveis independentes mais expressivas sobre à variável dependente. A escolha das variáveis pode ocorrer com a utilização de técnicas de seleção, como a técnica *Stepwise*, que seleciona de forma iterativa as variáveis que mais influenciam o conjunto de saída, excluindo possíveis redundâncias (HOCKING, 1976; MAROLLI et al., 2017). Já em relação aos problemas de otimização, uma alternativa de solução está no uso de algoritmos genéticos, que são uma técnica de inteligência artificial inspirada nos mecanismos de evolução de seres vivos, os quais proporcionam agilidade na formulação e solução de problemas (PARSONS; TE BEEST, 2004; ZHENG et al., 2017).

Desta forma, o objetivo do capítulo é selecionar as variáveis potenciais para inclusão em modelos de simulação da área foliar necrosada e identificar o manejo de fungicida que minimize a expressão da necrose foliar e promova maior intervalo entre a colheita e a última aplicação do agroquímico. Além disto, otimizar o melhor momento de avaliação da necrose foliar para o desenvolvimento de um modelo de simulação da produtividade de grãos de aveia eficiente e que auxilie na previsão de safras.

9.2 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste capítulo, foram consideradas as variáveis meteorológicas: temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), média da temperatura mínima (°C), média da temperatura máxima (°C), temperatura média (°C), umidade mínima (%), umidade máxima (%), média da umidade mínima (%), média da umidade máxima (%) e umidade média (%), obtidas a partir de períodos quinzenais, anteriores a cada estádio de avaliação da área foliar necrosada de 60, 75, 90, 105 e 120 DAE. Além destas, as variáveis soma térmica (graus dia^{-1}) e precipitação pluviométrica (mm) também foram incluídas nas análises, porém foram considerados os valores acumulados desde o início do ciclo de cultivo da aveia, até os estádios de 60, 75, 90, 105, 120 DAE.

As análises foram realizadas considerando as médias da área foliar necrosada (%) e da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) referentes as cultivares URS Altiva, URS Taura e URS Fapa Slava, que representam o conjunto total de cultivares consideradas no estudo. Os valores médios de área foliar necrosada avaliados nos estádios de 90 DAE e 105 DAE foram agrupados pelo teste de médias de Scott e Knott para verificação do manejo de fungicida que possue médias estatisticamente iguais, a fim de identificar a quantidade mínima de aplicações para a minimização da área foliar necrosada. Os estádios de análise de 90 DAE e 105 DAE foram utilizados pois foram identificados em capítulos anteriores como os melhores momentos de avaliação da área foliar necrosada.

A partir das médias de área foliar necrosada foi buscado desenvolver um modelo de simulação do progresso das doenças foliares em função do número de aplicação de fungicida, do ciclo de cultivo a partir de 60 DAE, e das variáveis meteorológicas, independente de ano e de cultivar. Para definição das variáveis a serem incorporadas no modelo de simulação, foram desenvolvidos seis modelos, utilizando a técnica de regressão linear múltipla, em que: o Modelo 1 considerou como variáveis independentes o número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e todas as variáveis meteorológicas; o Modelo 2 considerou as variáveis selecionadas a partir da técnica de seleção de variáveis *Stepwise*; o Modelo 3 considerou as variáveis número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e as temperaturas e as umidades mínimas e máximas absolutas dos períodos quinzenais; o Modelo 4 foi composto pelas variáveis número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e as médias das temperaturas e umidades mínimas e máximas dos períodos quinzenais; o Modelos 5 considerou as variáveis número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e temperatura e umidade médias e; por fim, o Modelo 6 foi composto pelas variáveis número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e os valores médios de temperatura e umidade mínima e máxima e a temperatura e umidade média.

Os modelos foram validados a partir das simulações realizadas utilizando os dados referentes aos momentos de 90 DAE e 105 DAE em todas as condições de uso do fungicida para o ano de 2015, ano considerado com as melhores condições para avaliação da área foliar necrosada entre as

cultivares. O modelo escolhido foi aquele que apresentou os menores valores de erro absoluto entre os valores de área foliar necrosada observada e simulada.

As variáveis que compõem o modelo de regressão linear múltipla que apresentou as melhores simulações, foram as variáveis utilizadas para compor o modelo de simulação via RNA para o progresso das doenças foliares. Foi implementada uma RNA do tipo *feedforward*, a *Percéptrons* de múltiplas camadas em que sua estrutura foi constituída por três camadas, sendo a camada de entrada, oculta e de saída. A camada de entrada possui a quantidade de neurônios igual a quantidade de variáveis selecionadas pelos modelos de regressão linear múltipla. A camada de saída possui um neurônio, considerando a área foliar necrosada como dado de saída. Para a definição do número de neurônios da camada oculta, foi considerada a metodologia sugerida por Hecht-Nielsen (1989) que determina que o número de neurônios da camada escondida será igual ao dobro do número de neurônios da camada de entrada mais um. A função de ativação utilizada foi a tangente hiperbólica.

Para o treinamento da RNA foi utilizado o algoritmo de otimização Levenberg-Marquardt *backpropagation* através da ferramenta Neural Network Start do software Matlab. Para o treinamento da RNA, os dados amostrais foram normalizados utilizando seguinte equação:

$$N = \frac{2(p - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} - 1 \tag{78}$$

em que, N é o valor normalizado adimensional, p é o valor a ser normalizado, p_{min} é o menor valor da amostra e p_{max} é o maior valor amostra. Esta normalização dos dados é necessária devido ao fato de que a função de ativação definida se utiliza de valores no intervalo de -1 a 1. Após a normalização, os dados amostrais foram divididos aleatoriamente em 70% para o treinamento, 15% para teste e 15% para validação. Após o treinamento, o modelo de RNA obtido foi validado a partir do cálculo do erro absoluto, dado pela diferença entre os dados simulados com os dados observados de área foliar necrosada em todas as condições de uso de fungicida e em todos os anos agrícolas nos momentos de 90 DAE e 105 DAE. Além disto, os valores de erro absoluto obtidos para o modelo de RNA foram comparados com os valores de erro absoluto obtidos pelo modelo de simulação da área foliar necrosada via regressão linear múltipla, verificando qual técnica mostra maior eficiência de simulação para esta variável.

Além do modelo de simulação da área foliar necrosada, foi implementada uma RNA para simulação da produtividade de grãos de aveia. A RNA foi do tipo *feedforward*, a *Percéptrons* de múltiplas camadas em que sua estrutura foi constituída por três camadas, sendo a camada de entrada, oculta e de saída. A camada de entrada possui três de neurônios, considerando como variáveis de entrada a área foliar necrosada, a soma térmica e a precipitação pluviométrica. A camada de saída possui 1 neurônio, considerando a produtividade de grãos como dado de saída. O número de

neurônios da camada escondida também foi determinado seguindo a metodologia de Hecht-Nielsen (1989), ou seja, o número de neurônios da camada escondida será o dobro do número de neurônios da camada de entrada mais um. Para estas RNAs, os dados foram normalizados e divididos aleatoriamente em 70% para o treinamento, 15% para teste e 15% para validação.

Em relação aos dados de área foliar necrosada utilizados como entrada da RNA que simula a produtividade de grãos, foi necessário estabelecer o melhor momento de avaliação da variável, bem como, as variáveis meteorológicas correspondentes a este momento. Desta forma, a partir do manejo do fungicida que minimiza a expressão da área foliar necrosada, identificado pelo teste de médias de Scott e Knott, foi considerado o período de dias que correspondem ao momento da última aplicação do manejo do fungicida até o término do ciclo de cultivo da aveia. Como as avaliações da área foliar necrosada ocorreram a cada quinze dias, a estimativa da necrose foliar diária foi realizada a partir da estrutura da RNA obtida e validada para a simulação desta variável, considerando as variáveis meteorológicas correspondentes a cada dia considerado.

Desta forma, a fim de identificar o momento de avaliação da área foliar necrosada que proporciona a simulação mais acurada da produtividade de grãos, foi utilizado o método de otimização via algoritmos genéticos na verificação das diferentes possibilidades de construção de RNAs para a simulação da produtividade. Para a inicialização do algoritmo genético, determinou-se o tamanho da população inicial em 200 indivíduos, representando satisfatoriamente o limite do problema. Na etapa de seleção, os 100 indivíduos com as melhores aptidões são selecionados para fazer os cruzamentos e os demais são descartados, utilizando o método de seleção de torneio. Para reprodução, além do cruzamento, foi considerado uma taxa de mutação de 10%. Em relação a função objetivo, é considerada a função geradora das RNAs correspondentes à cada momento de avaliação da área foliar necrosada e as variáveis meteorológicas. A função aptidão corresponde a equação do cálculo do erro absoluto entre a produtividade de grãos simulada pela RNA e a produtividade de grãos observada. Como critério de parada, foi estabelecido que após 20 gerações o processo pode ser finalizado. Assim, após a conclusão, o algoritmo seleciona a melhor solução entre as vinte gerações.

As otimizações foram feitas primeiramente por ano agrícola, considerando as variáveis área foliar necrosada e meteorológicas correspondente a cada momento avaliado e as produtividades de grãos obtidos para cada ano. Além disto, foi realizada a otimização independente de ano agrícola, considerando as médias de área foliar necrosada e das variáveis meteorológicas para cada momento avaliado e a produtividade de grãos geral. Para criação do algoritmo genético e das RNAs foi utilizado o software Matlab, aonde foram desenvolvidas as funções de linguagem de programação .m (funções não apresentadas). Todos os métodos matemáticos e computacionais utilizados neste capítulo estão descritos no Capítulo 4 deste trabalho. Todas as análises e modelos foram aplicados através dos softwares GENES, Matlab e Excel.

9.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 24 esta apresentado o conjunto de todas as variáveis meteorológicas consideradas neste estudo, no ciclo de desenvolvimento da aveia, a partir dos 60 DAE, tanto os diferentes indicadores da temperatura do ar, precipitação pluviométrica e os indicadores ligados a umidade relativa do ar. Destaca-se que esta configuração foi construída utilizando os valores de diferentes anos agrícolas em cada ciclo de desenvolvimento da aveia, tendo como proposito validar através de regressão linear múltipla e da técnica *Stepwise*, as variáveis mais efetivas que deverão ser implementadas como variáveis independentes para modelos de simulação da área foliar necrosada por regressão linear múltipla e RNA.

Tabela 24: Variáveis meteorológicas em períodos quinzenais do ciclo de cultivo da aveia.

ANO	DAE	Variáveis Meteorológicas											
		T_{min}	T_{max}	$\bar{T}_{min}$	$\bar{T}_{max}$	$\bar{T}_{med}$	ST	PP	U_{min}	U_{max}	$\bar{U}_{min}$	$\bar{U}_{max}$	$\bar{U}_{med}$
2015	60	6,4	29	11	21	16	697	440	52	94	71	96	84
	75	12,7	30	17	28	23	975	454	41	74	53	89	71
	90	4,7	29	12	23	17	1174	527	39	91	63	96	80
	105	2,6	30	11	19	15	1338	561	43	90	72	95	83
	120	6,1	32	16	23	20	1570	654	42	67	70	92	81
2016	60	2,4	28	9	23	16	657	129	41	90	57	92	75
	75	-0,3	31	10	23	16	839	245	33	90	59	91	75
	90	5,0	32	10	22	16	1017	292	40	90	65	91	78
	105	2,3	32	7	25	16	1202	307	22	89	44	90	67
	120	4,4	30	11	26	19	1419	366	28	87	48	90	69
2017	60	0,2	32	11	25	18	779	129	40	84	53	90	72
	75	9,4	33	15	28	22	1042	139	36	84	53	90	72
	90	12,5	34	15	26	20	1290	208	35	92	64	92	78
	105	1,3	30	14	26	20	1525	504	34	85	64	92	78
	120	5,1	34	14	27	20	1770	594	32	89	54	92	73
2018	60	-0,2	27	4	18	11	583	143	38	88	61	96	78
	75	-1,5	27	6	20	13	718	212	26	73	56	92	74
	90	5,3	29	11	24	18	925	316	31	82	56	93	74
	105	9,7	32	14	25	20	1160	426	34	86	60	95	78
	120	12,1	32	16	24	20	1404	508	24	82	56	93	75
2019	60	-1,3	28	6	20	13	612	174	31	83	50	92	71
	75	3,8	33	10	23	17	801	212	31	79	48	92	70
	90	1,7	34	12	23	17	1002	262	33	75	54	90	72
	105	4,4	33	10	25	18	1205	312	20	79	41	92	67
	120	11,1	36	16	28	22	1473	401	23	77	51	91	71
2020	60	-2,4	30	8	19	14	608	661	33	82	59	93	76
	75	3,6	33	13	23	18	819	683	42	85	71	94	82
	90	2,7	33	11	25	18	1027	710	35	89	59	95	77
	105	6,9	38	14	28	21	1284	712	24	76	48	92	70
	120	6,8	36	14	32	23	1569	712	23	82	34	90	62

T_{min}: temperatura mínima (°C); T_{max}: temperatura máxima (°C); $\bar{T}_{min}$: média da temperatura mínima (°C); $\bar{T}_{max}$: média da temperatura máxima (°C); $\bar{T}_{med}$: temperatura média (°C); ST: soma térmica (°C) dia^{-1}; PP: precipitação pluviométrica (mm); U_{min}: umidade mínima (%); U_{max}: umidade máxima (%); $\bar{U}_{min}$: média da umidade mínima (%); $\bar{U}_{max}$: média da umidade máxima (%); $\bar{U}_{med}$: umidade média (%). DAE: dias após emergência; 60, 75, 90, 105, 120: representam os dias entre a emergência da planta até o momento de avaliação da área foliar necrosada.

Na Tabela 25, a proposta é trazer os resultados biológicos de progressão da doença a partir dos 60 dias de desenvolvimento da aveia, na identificação do manejo do fungicida que minimiza de forma significativa a expressão da área foliar necrosada e que possibilite maior intervalo entre a colheita e última aplicação, com elevada produtividade de grãos nos diferentes anos agrícolas.

Tabela 25: Médias de área foliar necrosada a partir dos 60 dias após a emergência do ciclo de cultivo da aveia e médias de produtividade de grãos nas condições de uso de fungicida.

ANO	Condição Fungicida	Área foliar necrosada (%)					PG (kg ha^{-1})
		60	75	90	105	120	
2015 (AAC) (AFD)	SF	0	17	55a	70a	100	1458
	CF_1	0	4	24b	34b	100	2076
	CF_2	0	4	11c	16c	100	2911
	CF_3	0	4	11c	12c	100	3390
	CF_4	0	4	11c	12c	100	3383
2016 (AFC) (ADD)	SF	0	1	8a	17a	42	2401
	CF_1	0	0	3b	6b	19	3405
	CF_2	0	0	2b	5b	12	4043
	CF_3	0	0	2b	4b	4	4297
	CF_4	0	0	2b	4b	4	4330
2017 (ADC) (AFD)	SF	2	5	34a	99a	100	1042
	CF_1	2	3	24b	66b	100	1804
	CF_2	2	3	17c	61c	100	1966
	CF_3	2	3	17c	58c	100	2278
	CF_4	2	3	17c	58c	100	2315
2018 (ADC) (AFD)	SF	1	3	54a	100a	100	1118
	CF_1	1	2	13b	99a	100	1795
	CF_2	1	2	6b	83b	100	2737
	CF_3	1	2	6b	80b	100	3141
	CF_4	1	2	6b	80b	100	3003
2019 (ADC) (AFD)	SF	1	7	55a	99a	100	759
	CF_1	1	6	19b	93a	100	1336
	CF_2	1	6	12b	63b	100	2036
	CF_3	1	6	12b	56b	100	2318
	CF_4	1	6	12b	56b	100	2077
2020 (ADC) (AFD)	SF	1	4	21a	95a	100	933
	CF_1	1	1	14b	94a	100	1138
	CF_2	1	1	12b	91b	100	1379
	CF_3	1	1	12b	89b	100	1416
	CF_4	1	1	12b	89b	100	1509

PG: produtividade de grãos; 60, 75, 90, 105, 120: representam os dias da emergência ao momento de avaliação da área foliar necrosada em cultivares de aveia; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; CF_4: quatro aplicações de fungicida aos 60, 75, 90 e 105 DAE. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott; AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia. AFD: ano favorável às doenças foliares. ADD: ano desfavorável às doenças foliares.

Para o momento de 90 DAE percebe-se que para os anos de 2015 e 2017 a condição de duas aplicações de fungicida apresenta médias de área foliar necrosada similares que as observadas nas condições com maior número de aplicações. Para os demais anos, ou seja, 2016, 2018, 2019 e 2020 a partir de condição de uma aplicação de fungicida não há mais efeito do agroquímico em diminuir de forma significativa a necrose foliar. Contudo, para esta condição de apenas uma aplicação, os valores de produtividade de grãos se mostram reduzidos.

Para o momento de 105 DAE, nos anos de 2015, 2017, 2018, 2019 e 2020 percebe-se que não há influência do fungicida em conter o avanço da necrose foliar, de forma significativa, a partir da condição de duas aplicações do agroquímico. Para o ano de 2016, a condição de uma aplicação ainda se mostra suficiente para obter reduzidos valores de área foliar necrosada, visto que para esse ano há um forte controle natural das doenças foliares. Para a condição de duas aplicações de fungicida, a produtividade de grãos apresenta médias mais elevadas, havendo um incremento considerável em relação a condição de apenas uma aplicação de fungicida. Além disto, os valores obtidos de produtividade para esta condição se encontram mais próximos a expectativa de produtividade desejada de 3000 kg ha^{-1}, além de proporcionar elevado intervalor de tempo entre a última aplicação e a colheita, diminuindo os riscos de permanência de resíduos de agrotóxicos nos grãos de aveia.

Na Tabela 26 é apresentado uma forma de identificação das variáveis potenciais que devam ser incorporadas no modelo de regressão linear múltipla e RNA para simulação da progressão da área foliar necrosada.

Neste sentido o Modelo 1 envolveu todas as variáveis, em que o coeficiente de determinação obtido para este modelo é de 80%. O Modelo 2 que envolve variáveis selecionadas pela técnica *Stepwise*, onde foram selecionadas o número de aplicação de fungicida, temperatura mínima, temperatura máxima, média da temperatura mínima, soma térmica, precipitação pluviométrica, umidade mínima, umidade máxima e média da umidade máxima, obteve-se um coeficiente de determinação de 79%. O Modelo 3 envolve apenas o número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e os valores mínimos e máximos de temperatura e umidade relativa do ar, apresentando um coeficiente de determinação um pouco mais reduzido em relação aos modelos anteriores. O Modelo 4 envolve unicamente o número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e as médias da temperatura e umidade mínima e máxima, evidenciando um coeficiente de determinação de 70%. O Modelo 5 está ligado a utilização do número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e as médias da temperatura do ar e da humidade relativa e apresenta um coeficiente de determinação de 66%. O Modelo 6 busca incluir o número de aplicação de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e as médias das temperaturas mínimas e máximas juntamente com as médias da temperatura e umidade do ar e apresentou um coeficiente de determinação de 73% de explicação dos resultados.

Tabela 26: Coeficientes das variáveis consideradas para cada modelo de regressão linear múltipla e resultados das simulações para cada modelo.

Variável	Modelos via regressão linear múltipla					
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
	(2015+2016+2017+2018+2019+2020+Altiva+Taura+FapaSlava)					
Constante	-877,90	-781,88	-584,94	-311,3	-143,31	-529,37
NAF	-3,24	-3,24	-3,24	-3,24	-3,24	-3,24
CC	-0,02	-	1,28	1,23	1,28	1,09
T_{min}	-1,43	-1,37	0,50	-	-	-
T_{max}	1,35	1,99	3,25	-	-	-
$\overline{T}_{min}$	379,27	2,96	-	5,23	-	456,42
$\overline{T}_{max}$	376,22	-	-	-2,61	-	447,75
$\overline{T}_{med}$	-752,39	-	-	-	2,89	-900,33
ST	0,08	0,08	-	-	-	-
PP	-0,02	-0,02	-	-	-	-
U_{min}	-0,84	-0,92	-0,01	-	-	-
U_{max}	5,51	6,03	4,21	-	-	-
$\overline{U}_{min}$	-4,86	-	-	-1,41	-	-10,06
$\overline{U}_{max}$	-1,65	1,02	-	3,49	-	-2,05
$\overline{U}_{med}$	-9,03	-	-	-	0,20	16,33
R^2	80	79	73	70	66	73

NAF	AFNo	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6	
	(%)	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA
		2015 (90 DAE)											
0	55	415	360	40	15	39	16	48	7	37	18	514	459
1	24	412	388	36	12	18	6	45	21	34	10	511	487
2	11	408	397	33	22	15	4	42	31	31	20	508	497
3	11	405	394	30	19	11	0	39	28	27	16	505	494
4	11	402	391	27	16	8	3	35	24	24	13	501	490
Média erro			386		17		6		22		15		485

NAF	AFNo	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6	
	(%)	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA	AFNs	EA
		2015 (105 DAE)											
0	70	-11	81	43	12	56	14	56	14	51	19	44	26
1	34	-14	48	39	15	40	6	53	19	48	14	41	7
2	16	-18	34	36	25	36	20	49	33	45	29	38	22
3	12	-21	33	33	22	33	21	46	34	41	29	35	23
4	12	-24	36	30	19	30	18	43	31	38	26	31	19
Média erro			46		19		16		26		23		19

T_{min}: temperatura mínima (°C); T_{max}: temperatura máxima (°C); $\overline{T}_{min}$: média da temperatura mínima (°C); $\overline{T}_{max}$: média da temperatura máxima (°C); $\overline{T}_{med}$: temperatura média (°C); ST: soma térmica (°C) dia^{-1}; PP: precipitação pluviométrica (mm); U_{min}: umidade mínima (%); U_{max}: umidade máxima (%); $\overline{U}_{min}$: média da umidade mínima (%); $\overline{U}_{max}$: média da umidade máxima (%); $\overline{U}_{med}$: umidade média (%). DAE: dias após emergência; CC: ciclo de cultivo a partir de 60 DAE; NAF: número de aplicação de fungicida; AFNo: área foliar necrosada observada; AFNs: área foliar necrosada simulada (%); EA: erro absoluto; *: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; R^2: coeficiente de determinação (%); Modelo 1: regressão linear múltipla composto por todo o conjunto de variáveis; Modelo 2: regressão linear múltipla composto pelas variáveis selecionadas pelo método Stepwise; Modelo 3: regressão linear múltipla composto pelas variáveis NAF, CC e as temperaturas e as umidades mínimas e máximas absolutas; Modelo 4: regressão linear múltipla composto pelas variáveis NAF, CC e as médias da temperatura e umidade mínimas e máximas. Modelo 5: regressão linear múltipla composto pelas variáveis NAF, CC e a temperatura e a umidade médias; Modelo 6: regressão linear múltipla composto pelas variáveis NAF, CC e os valores médios de temperatura e umidade mínima e máxima e a temperatura e umidade média.

Para a efetivação das melhores variáveis e definição de um modelo de simulação a partir de um destes modelos de regressão linear múltipla, foi analisado o resultado dado pela diferença entre os dados da área foliar necrosada simulada e observada para cada modelo pelas condições meteorológicas do ano de 2015 nos momentos de 90 DAE e 105 DAE, destacado anteriormente como o ano e os momentos que possibilitam as melhores condições de análise da área foliar necrosada.

Conforme apresentado na Tabela 26, destaca-se que embora o Modelo 1 apresente elevado coeficiente de determinação, os resultados das simulações foram totalmente discrepantes, principalmente para o momento de 90 DAE, desqualificando a utilização de todas as variáveis para explicação da área foliar necrosada. As simulações realizadas a partir do Modelo 2 apresentam uma melhoria dos resultados simulados em relação aos dados observados, sugerindo a eficiência do método de seleção *Stepwise* na seleção de variáveis mais eficientes para simulação da necrose foliar em aveia. No entanto, a incorporação dos valores mínimos e máximos absolutos de temperatura e umidade mostrou resultados muito qualificados para a simulação da área foliar necrosada em relação aos Modelos 1 e 2, independente do momento de avaliação considerado. Os Modelos 4, 5 e 6 apresentam valores absolutos de erros semelhantes entre si para os cenários de simulação considerados, exceto para o Modelo 6 que apresentou erros absolutos muito elevados para todas as condições de aplicação de fungicida no momento de 90 DAE. Desta forma, foi selecionado o Modelo 3, que possui as variáveis número de aplicações de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e os valores de temperatura e umidade mínima e máxima absolutos como o modelo mais eficientes para a simulação do progresso da área foliar necrosada em aveia.

A regressão linear múltipla é uma técnica estatística que permite relacionar várias variáveis independentes a uma variável dependente e possuem uma ampla capacidade de utilização. Na área de simulação de doenças foliares, Pietravalle et al. (2003) realizaram a modelagem das relações entre variáveis meteorológicas com e o avanço de epidemias de *Septoria tritici* no trigo de inverno utilizando regressão linear múltipla. Del Ponte et al. (2006) através da regressão linear múltipla previram a gravidade das epidemias da ferrugem asiática da soja utilizando variáveis ligadas a precipitação pluviométrica. Rodríguez et al. (2020) através da regressão linear estudaram a relação das condições meteorológicas com o avanço das doenças fúngicas em videiras do noroeste da Espanha. Tamang et al. (2021) desenvolveram uma equação via regressão linear múltipla para a previsão da mancha do trigo baseada em variáveis meteorológicas. Em sorgo, Bhardwaj et al. (2021) criaram um modelo baseados em variáveis meteorológicas para prever o risco de doença da mancha foliar, obtendo resultados satisfatórios.

As variáveis definidas pelo Modelo 3 são as variáveis potencias para criação de modelos de simulação para a área foliar necrosada via RNA. Desta forma, a RNA obtida possui seis neurônios na camada de entrada, um neurônio na camada de saída e treze neurônios na camada escondida. Após o

seu treinamento obteve-se os valores de 0,0120, 0,0108 e 0,0111 de erro quadrático médio para o treino, validação e teste, juntamente com os valores de 0,99 de coeficiente de determinação para o treino, validação e teste, indicando um bom ajuste do modelo aos dados.

Na Tabela 27 são apresentados os valores de área foliar necrosada observados via bioexperimentação e os valores de área foliar necrosada simulados pelos modelos de regressão linear múltipla e RNA, juntamente com os valores de erro absoluto médios obtidos para cada ano e momento de avalição considerado para cada modelo.

Tabela 27: Área foliar necrosada observada e simulada por regressão linear múltipla e RNA e valores de erro absoluto médio por ano agrícola.

Ano	AFNo					AFN_{RLM}					AFN_{RNA}					$EA_{médio}$	
	SF	CF_1	CF_2	CF_3	CF_4	SF	CF_1	CF_2	CF_3	CF_4	SF	CF_1	CF_2	CF_3	CF_4	RLM	RNA
90 DAE																	
2015	55	24	11	11	11	55	32	28	25	22	52	29	13	11	10	14	2
2016	8	3	2	2	2	24	20	17	14	11	7	1	2	2	1	14	1
2017	34	24	17	17	17	38	35	32	29	25	43	25	18	18	17	10	2
2018	54	13	6	6	6	39	36	33	30	27	50	18	4	6	7	22	2
2019	55	19	12	12	12	54	51	47	44	41	62	27	13	12	11	26	3
2020	21	14	12	12	12	51	48	45	41	38	26	12	11	11	10	20	2
105 DAE																	
2015	70	34	16	12	12	56	53	50	47	43	80	36	20	13	9	26	4
2016	17	6	5	4	4	38	34	31	28	25	16	7	5	3	4	24	1
2017	99	66	61	58	58	39	36	32	29	26	92	65	56	54	50	36	5
2018	100	99	83	80	80	71	67	64	61	58	103	95	87	82	79	24	3
2019	99	93	63	56	56	75	72	69	66	63	101	84	66	58	58	13	4
2020	95	94	91	89	89	85	81	78	75	72	96	93	90	88	87	14	1

AFN_O: área foliar necrosada observada (%); AFN_{RLM}: área foliar necrosada simulada por regressão linear múltipla (%); AFN_{RNA}: área foliar necrosada simulada por RNA (%); $EA_{médio}$: erro absoluto médio (%); RLM: regressão linear múltipla; RNA: rede neural artificial; SF: sem uso de fungicida; CF_1: uma aplicação de fungicida aos 60 DAE; CF_2: duas aplicações de fungicida aos 60 e 75 DAE; CF_3: três aplicações de fungicida aos 60, 75 e 90 DAE; CF_4: quatro aplicações de fungicida aos 60, 75, 90 e 105 DAE.

De modo geral, os resultados das simulações da área foliar necrosada em função do número de aplicação de fungicida, do ciclo de cultivo a partir de 60 DAE e das variáveis meteorológicas via RNA apresentaram valores muito próximos aos valores observados pela bioexperimentação em comparação aos dados simulados pela regressão linear múltipla. Este fato é comprovado pelos reduzidos valores de erro absoluto médios obtidos para o modelo de RNA em todos os cenários de simulação considerados. A partir destes resultados comprova-se a maior eficiência e capacidade de simulação das RNAs em relação aos modelos de regressão linear múltipla da expressão da área foliar necrosada em função das condições meteorológicas.

A inteligência artificial tem permito a obtenção de modelos de simulação e previsão de doenças cada vez mais eficazes para auxiliar a tomada de decisões de controle e conhecer o progresso e severidade que as doenças podem apresentar nos sistemas de cultivo. Paul e Munkvold (2005) por meio da análise de regressão e modelagem por RNAs desenvolveram um modelo de simulação para a predição da mancha cinzenta do milho, utilizando como variáveis de entrada ou variáveis independentes a temperatura do ar e a humidade relativa do ar. Em tomate, Sharma, Singh e Singh (2018) através de uma abordagem via RNAs criaram um modelo de previsão da doença da requeima da batata com base em parâmetros meteorológicos. Hsieh et al. (2019) utilizando as RNAs obtiveram um modelo de simulação da doença da brusone do arroz utilizando variáveis meteorológicas como a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Shankar, Johnen e Liwicki (2020) através da utilização de RNAs construíram um modelo simulação da ferrugem da folha no trigo, que pode auxiliar o agricultor na tomada de decisão de controle da doença com a pulverização ou não do fungicida. Patil e Kumar (2021) obtiveram modelos de previsão de doenças do arroz, considerando diversas condições agro meteorológicas usando uma abordagem de inteligência artificial via RNAs.

Percebendo a eficiência de aprendizado das RNAs e sua capacidade de representação de fenômenos reais, buscou-se desenvolver um modelo de simulação da produtividade de grãos de aveia, considerando como variáveis de entrada a área foliar necrosada, a soma térmica e a precipitação pluviométrica. Para isto, foram considerados os dados obtidos para a condição de duas aplicações de fungicida, definida anteriormente como sendo a condição que possibilita maior segurança alimentar e reduzida expressão da necrose foliar. Como a área foliar necrosada pode ser avaliada em diferentes momentos de desenvolvimento da aveia, buscou-se determinar o momento ótimo de avaliação da necrose foliar, que junto com as variáveis meteorológicas mencionadas, proporcionam a estimativa da produtividade de grãos mais próxima dos valores obtidos por bioexperimentação. Desta forma, considerando que para a condição de duas aplicações de fungicida a primeira aplicação é realizada aos 60 DAE e a segunda aos 75 DAE, foram considerados os momentos de 75 DAE até 120 DAE, totalizando 45 momentos diferentes de avaliação da área foliar necrosada em cada ano agrícola. Os valores de área foliar necrosada diários foram obtidos a partir do modelo de RNA construído e validado anteriormente.

Na Tabela 28 são apresentados os resultados do processo de otimização do momento de avaliação da área foliar necrosada para a simulação da produtividade de grãos, em que a otimização foi realizada, primeiramente, em cada ano agrícola e em um segundo momento, independente de condição de ano. Além disto, são apresentados os valores dos erros absolutos obtidos para as simulações da produtividade de grãos desenvolvidas pelas RNAs que consideraram a área foliar necrosada e as variáveis meteorológicas dos momentos otimizados.

Tabela 28: Otimização do melhor momento de avaliação da área foliar necrosada por algoritmo genético para simulação da produtividade de grãos de aveia para duas aplicações de fungicida.

Ano de Cultivo	DAEot	PGo (kg ha^{-1})	EA (kg ha^{-1})
2015 (AAC)	85	2911	8
2016 (AFC)	79	4043	1
2017 (ADC)	99	1966	0,3
2018 (ADC)	95	2737	2
2019 (ADC)	82	2036	0,6
2020 (ADC)	103	1379	15
Média	90	2512	4
Geral (AG)	87	2512	3

DAEot: dias após a emergência otimizado por algoritmo genético como o melhor momento de avaliação da área foliar necrosada para ser utilizado na simulação da produtividade de grãos de aveia; PGo: produtividade de grãos observada. Geral (AG): momento de avaliação da área foliar necrosada otimizada por algoritmo genético, independente de ano agrícola. AAC: ano aceitável ao cultivo da aveia; ADC: ano desfavorável ao cultivo da aveia; AFC: ano favorável ao cultivo da aveia; EA: erro absoluto.

Para o ano de 2015, ano aceitável ao cultivo da aveia e favorável ao desenvolvimento de doenças foliares, o melhor momento de avaliação da área foliar necrosada para a simulação da produtividade de grãos de aveia ocorre aos 85 DAE, em que foi obtido um erro absoluto de apenas 8 kg ha^{-1} entre a produtividade simulada pela RNA e o valor observado. No ano de 2016, favorável ao cultivo da aveia e desfavorável ao progresso das doenças foliares, o momento de avaliação da área foliar necrosada que possibilita a melhor simulação da produtividade de grãos de aveia ocorreu aos 79 DAE. Nos anos de 2017, 2018 e 2019, anos desfavoráveis ao cultivo da aveia e favoráveis ao progresso das doenças foliares, os melhores momentos de avaliação obtidos são aos 99 DAE, 95 DAE e 82 DAE, respectivamente. Os valores de 0,3 kg ha^{-1}, 2 kg ha^{-1} e 0,6 kg ha^{-1} de erro absoluto encontrado para as simulações via RNAs para estes anos, considerando os momentos de avaliação da área foliar necrosada otimizados, mostram que as simulações obtiveram valores muito próximos aos valores reais. Por fim, para o ano de 2020, ano também desfavorável ao cultivo da aveia e favorável ao surgimento de doenças foliares, o momento de avaliação da área foliar necrosada otimizado foi aos 103 DAE, obtendo um erro absoluto de 15 kg ha^{-1}, que apesar de ser o mais elevado entre os demais erros obtidos, ainda evidencia uma simulação muito próxima do valor real.

Dos momentos de avaliação da área foliar necrosada otimizados para cada ano, foi calculada a média aritmética, em que foi obtido o valor de 90 DAE, momento determinado em capítulos anteriores como um dos melhores momentos para avaliação da necrose foliar entre as cultivares de aveia. Entretanto, a partir da otimização realizada por algoritmos genéticos, independente de ano agrícola, se identifica que aos 87 DAE ocorre o momento que possibilita as melhores estimativas de produtividade de grãos, sendo observado um erro absoluto de apenas 3 kg ha^{-1} para o modelo via RNA gerado. Desta forma, é observado que o melhor momento de avaliação da área foliar necrosada

para verificação tanto da variabilidade entre as cultivares como para a estimativa da produtividade de grãos de aveia ocorre próximo aos 90 DAE.

A inteligência artificial, por meio das RNAs tem possibilitado a simulação e previsão da produtividade de grãos em diferentes cultivos. Soares et al. (2015) desenvolveram um sistema inteligente utilizando RNAs para estimativa da produção da cultura do milho com base em variáveis morfológicas da cultura. Michelon et al. (2018) criaram modelos de simulação da produtividade da soja e milho utilizando as RNAs, considerando leituras de clorofila como dado de entrada. De Mamann et al. (2019) utilizaram a técnica das RNAs para desenvolver um modelo de simulação da produtividade biológica de trigo em função de variáveis meteorológicas e diferentes doses de nitrogênio. Conceição et al. (2021) por meio das RNAs desenvolveram modelos capazes de realizar a predição da produtividade do mamoeiro.

Além das RNAs, os algoritmos genéticos possuem uma grande aplicabilidade para o processo de otimização em diferentes áreas de estudo. Em relação a manejos utilizados na agricultura, Montesinos, Camacho e Alvarez (2001) utilizaram algoritmos genéticos para encontrar uma combinação ótima quase global de eventos de irrigação que maximiza o lucro líquido em diferentes culturas. Parsons e Te Beest (2004) otimizaram o número de aplicações de fungicidas no trigo de inverno usando algoritmos genéticos. Dornelles et al. (2018) através de RNAs e algoritmos genéticos, realizaram a simulação da produtividade de grãos de aveia e a otimização da densidade de semeadura, considerando os principais sistemas de sucessão do sul do Brasil. Em soja, Yoosefzadeh-Najafabadi, Tulpan e Eskandari (2021) investigaram o uso potencial de componentes de rendimento de soja para a construção de um modelo de previsão do rendimento final da cultura e por algoritmos genéticos estimaram os valores otimizados destes componentes para maximizar o rendimento final. Ramezanpour e Farajpour (2022) avaliaram os efeitos do nitrogênio, potássio e magnésio na produção de frutos da bananeira e modelaram por RNAs o comprimento de frutos e o número de linhas por espiga nos cachos e por fim determinaram as concentrações ideais de nitrogênio, potássio e magnésio para os caracteres da planta medidos usando o algoritmo genético.

9.4 Conclusão

A condição de duas aplicações de fungicida, aos 60 e 75 dias após a emergência, mostra reduzidos valores de área foliar necrosada com produtividade satisfatória, proporcionando maior intervalo entre a colheita e a última aplicação do fungicida, potencializando a segurança alimentar.

O número de aplicações de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 dias após a emergência e os valores absolutos da temperatura e umidade mínima e máxima são as variáveis mais eficientes para construção de modelos de simulação do progresso da área foliar necrosada em aveia via regressão linear múltipla e redes neurais artificiais.

A rede neural artificial mostra resultados muito similares aos obtidos nas condições reais de cultivo da aveia para a análise da área foliar necrosada. Inclusive, com alta qualidade das simulações obtidas em comparação ao modelo de regressão linear múltipla.

A técnica de otimização por algoritmo genético identifica que a avaliação da área foliar necrosada aos 87 dias após a emergência permite a melhor análise da área foliar necrosada com melhor estimativa da produtividade de grãos de aveia.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de fungicida é primordial para garantia de uma produtividade de grãos elevada e com qualidade de grãos em diversas culturas devido a existência de diferentes doenças que acometem os sistemas de cultivo. Em aveia branca, a utilização de fungicida é uma técnica de manejo essencial para controle das principais doenças foliares, como a ferrugem da folha e a helmintosporiose. Entretanto, o uso de fungicida exige cuidado devido a possibilidade de permanência de resíduos nos grãos de aveia, além dos riscos ao meio ambiente. Desta forma, a pesquisa apresentada neste trabalho apresenta resultados importantes em relação ao desenvolvimento das principais doenças foliares e o manejo do fungicida no cultivo de aveia, afim de indicar cultivares e manejos que proporcionem maior intervalo entre a colheita e a última aplicação, com maior garantia de segurança alimentar.

Foi evidenciado que o momento mais adequado de avaliação da área foliar necrosada em cultivares de aveia se dá próximo aos 90 e 105 dias após a emergência, oportunizando a maior variabilidade entre as cultivares em resposta às doenças foliares. Entre os anos considerados no estudo, o ano de 2015 se destaca como mais favorável à análise da resistência genética.

Pela análise da regressão linear as cultivares Corona, Brisasul, Afrodite, Farroupilha e Gaudéria possuem as menores taxas de evolução de necrose foliar em condição de ausência de fungicida, independente de ano agrícola. A cultivar Farroupilha apresenta reduzida necrose foliar e adaptabilidade ampla com estabilidade para a área foliar necrosada, tendo os anos agrícolas como índice ambiental, independente do momento de avaliação.

A cultivar Altiva apresenta maior desempenho de expressão da produtividade de grãos, com adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis e instabilidade. As cultivares Brava, Estampa, URS 21 e Farroupilha apresentam o segundo melhor desempenho com adaptabilidade ampla, porém sem estabilidade na produtividade.

Na análise da regressão linear, a cultivar Gaudéria apresenta reduzida área foliar necrosada na ausência de fungicida e tendência de menor dependência ao uso do agroquímico. As cultivares Altiva e Farroupilha são menos dependentes ao manejo de maior uso de fungicida, na expressão da produtividade de grãos.

Pelos modelos de Eberhart e Russel e Cruz, Tores e Vencovsky a cultivar Altiva apresenta média mais elevada de produtividade com adaptabilidade especifica à ambientes desfavoráveis, porém sem estabilidade.

Na análise sobre a área foliar necrosada, a cultivar Altiva mostra reduzidos valores de necrose foliar, com adaptabilidade geral e estabilidade. Esta cultivar é identificada como uma possível candidata para cultivos com menor uso do fungicida.

Pela regressão linear é identificado que a área foliar necrosada, a produtividade de grãos e de indústria apresentam uma dependência linear em função do número de aplicações de fungicida, independente da cultivar.

A análise de contribuição relativa destaca a produtividade de grãos e o número de grãos maiores que dois milímetros as variáveis mais sensíveis as modificações do manejo do fungicida na cultivar mais resistente às doenças foliares. Na cultivar mais suscetível, a maior modificação pelo manejo de fungicida se dá para a massa de mil grãos, massa do hectolitro, produtividade industrial e o amido.

A produtividade de grãos mostra relação negativa com a área foliar necrosada e positiva com a massa do hectolitro e a produtividade industrial. As relações entre as variáveis na condição em que não ocorre o uso do fungicida e na condição de uma aplicação tentem a ser semelhantes, havendo algumas alterações nestas relações nas condições com maior número de fungicida.

A área foliar necrosada apresenta grande número de correlações significativas negativas com variáveis ligadas a produtividade e qualidade de grãos, principalmente a massa de mil grãos e do hectolitro e produtividade de grãos e de indústria.

A condição de duas aplicações de fungicida, aos 60 e 75 dias após a emergência, mostra reduzidos valores de área foliar necrosada com produtividade satisfatória, proporcionando maior intervalo entre a colheita e a última aplicação do fungicida, potencializando a segurança alimentar.

O número de aplicações de fungicida, o ciclo de cultivo a partir de 60 dias após a emergência e os valores absolutos da temperatura e umidade mínima e máxima são as variáveis mais eficientes para construção de modelos de simulação do progresso da área foliar necrosada em aveia via regressão linear múltipla e redes neurais artificiais.

A rede neural artificial mostra resultados muito similares aos obtidos nas condições reais de cultivo da aveia para a análise da área foliar necrosada. Inclusive, com alta qualidade das simulações obtidas em comparação ao modelo de regressão linear múltipla.

A técnica de otimização por algoritmo genético identifica que a avaliação da área foliar necrosada aos 87 dias após a emergência permite a melhor análise da ares foliar necrosada com melhor estimativa da produtividade de grãos de aveia.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à indentificação de sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

ANDERSON, M. et al. Contributive effect of growth regulator Trinexapac-Ethyl to oats yield in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 10, p. 795–804, 2017.

ARENHARDT, E. G. et al. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in southern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 48, p. 4322–4330, 2015a.

ARENHARDT, E. G. et al. CG PICAÇO: A new cultivar of sudangrass with high forage performance and seed yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 1, p. 51–55, 2015b.

ASEEVA, T. A.; MELNICHUK, I. B. Dependence of Various Oat Ecotypes' Yield Capacity on Climatic Factors in the Middle Amur Region. **Russian Agricultural Sciences**, v. 44, n. 1, p. 5–8, 2018.

AUDSLEY, E.; MILNE, A.; PAVELEY, N. A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems. **Annals of Applied Biology**, v. 147, n. 2, p. 161–172, 2005.

AZEVEDO, C. F. et al. Updated knowledge in the estimation of genetics parameters: a Bayesian approach in white oat (Avena sativa L.). **Euphytica**, v. 218, n. 4, 2022.

BANAŚ, K.; HARASYM, J. Current Knowledge of Content and Composition of Oat Oil—Future Perspectives of Oat as Oil Source. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 2, p. 232–247, 2021.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. DO N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006.

BAZDARIC, K. et al. The abc of linear regression analysis: What every author and editor should know. **European Science Editing**, v. 47, 2021.

BENITEZ, L. C. et al. Análise multivariada da divergência genética de genótipos de arroz sob estresse salino durante a fase vegetativa. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 409–416, 2011.

BERGEZ, J. E. et al. MO USTICS: A generic dynamic plot-based biodecisional model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 82, p. 8–14, 2012.

BHARDWAJ, N. R. et al. Weather-based models for predicting risk of zonate leaf spot disease in Sorghum. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 6, p. 702–713, 2021.

BHARDWAJ, N. R.; BANYAL, D. K.; ROY, A. K. Prediction model for assessing powdery mildew disease in common Oat (Avena sativa L.). **Crop Protection**, v. 146, n. May, p. 105677, 2021.

BITTAR, R. D.; ALVES, S. M. D. F.; DE MELO, F. R. Estimation of physical and chemical soil properties by artificial neural networks. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 704–712, 2018.

BRAGA, A. DE P.; CARVALHO, A. P. DE L. F. DE; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CANALES ISLAS, E. I. et al. Estabilidad del rendimiento de grano en hibridos trilineales androesteriles de maiz para Valles Altos de Mexico. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 7, n. 8, p. 1815–1827, 2017.

CARNEIRO, A. R. T. et al. Fuzzy logic in automation for interpretation of adaptability and stability in plant breeding studies. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 2, p. 123–129, 2019.

CARVALHO, I. R. et al. Bi-segmented regression, factor analysis and AMMI applied to the analysis of adaptability and stability of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 10, p. 1410–1416, 2016.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 1995.

CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Ecofisiologia da Aveia Branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 3, p. 1–15, 2012.

CHAGAS, K. et al. Divergência genética em genótipos de maracujazeiro azedo, com base em características físicas e químicas dos frutos1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 3, p. 524–531, 2016.

CHAVES, M.; MARTINELLI, J. Ferrugem Da Folha Da Aveia: Aspectos Epidemiológicos E Perspectivas De Controle Através Da Resistência Genética Na Região Sul Do Brasil. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 397–403, 2005.

CHEN, H. et al. Identification and characterization of Pyrenophora species causing leaf spot on oat (Avena sativa) in western China. **Plant Pathology**, v. 71, n. 3, p. 566–577, 2022.

CHMIELEWSKI, F. M.; KÖHN, W. Impact of weather on yield components of spring cereals over 30 years. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 96, n. 1–3, p. 49–58, 1999.

COELHO, A. P. et al. Biomass and nitrogen accumulation in white oat (Avena sativa L.) under water deficit. **Revista Ceres**, v. 67, n. 1, p. 1–8, 2020.

CONCEIÇÃO, L. V. DA et al. Predição de produtividade do mamoeiro (Carica Papaya L.) por Redes Neurais Artificiais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e595101220692, 2021.

CRESTANI, M. et al. Conteúdo de β-glucana em cultivares de aveia-branca cultivadas em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 261–268, 2010.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006.

CRUZ, C. D. GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Biometry in plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. Special Issue, p. 1–11, 2021.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. [s.l.] Editora UFV, 2012.

CZOCHER, J. A. Introducing Modeling Transition Diagrams as a Tool to Connect Mathematical Modeling to Mathematical Thinking. **Mathematical Thinking and Learning**, v. 18, n. 2, p. 77–106, 2016.

DA LUZ, S. R. et al. Mycotoxin and fungicide residues in wheat grains from fungicide-treated plants measured by a validated LC-MS method. **Food Chemistry**, v. 220, p. 510–516, 2017.

DA SILVA, G. O. et al. Parâmetros de avaliação da tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivres de aveia (Avena Sativa L.). **Revista Brasileira Agrociência**, v. 12, n. June, p. 401–404, 2006.

DA SILVA, J. A. G. et al. Adaptability and Stability of Yield and Industrial Grain Quality with and

without Fungicide in Brazilian Oat Cultivars. **American Journal of Plant Sciences**, v. 06, p. 1560–1569, 2015.

DANIELOWSKI, R. **Informações técnicas para a cultura de aveia: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia Sociedade Educacional Três de Maio**. Três de Maio: SETREM, 2021.

DE CARVALHO, A. D. F. et al. Análise de fatores e regressão bissegmentada no estudo da adaptabilidade e estabilidade de cenoura. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 932–940, 2014.

DE 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. 797–806, 2010.

DE LACERDA, E. G. M.; DE CARVALHO, A. C. P. L. F. Sistemas inteligentes: aplicaçoes a recursos hıdricos e ciências ambientais. In: **Introdução aos algoritmos genéticos**. [s.l: s.n.]. p. 99–148.

DE MAMANN, Â. T. W. et al. Nitrogen efficiency in wheat yield through the biopolymer hydrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 697–702, 2017.

DE MAMANN, Â. T. W. et al. Artificial Intelligence Simulating Grain Productivity During the Wheat Development Considering Biological And Environmental Indicators. **Journal of Agricultural Studies**, v. 7, n. 2, p. 197, 2019.

DE OLIVEIRA, D. J. L. S. F. et al. Genetic divergence of sweet potato genotypes based on morpho-agronomic traits. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 229–235, 2021.

DE SOUZA LUCHE, H. et al. Prediction of parental combination for introduction of stay-green associated loci in wheat. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 73–80, 2017.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797–803, 2006.

DIETZ, J. I.; SCHIERENBECK, M.; SIMÓN, M. R. Impact of foliar diseases and its interaction with nitrogen fertilization and fungicides mixtures on green leaf area dynamics and yield in oat genotypes with different resistance. **Crop Protection**, v. 121, n. March, p. 80–88, 2019.

DORNELLES, E. F. et al. Artificial intelligence in seeding density optimization and yield simulation for oat. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 183–188, 2018.

DORNELLES, E. F. et al. Resistance of oat cultivars to reduction in fungicide use and a longer interval from application to harvest to promote food security. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 2, p. 1–12, 2020.

DORNELLES, E. F. et al. The efficiency of Brazilian oat cultivars in reducing fungicide use for greater environmental quality and food safety. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 7, p. 1058–1065, 2021.

DOS SANTOS, D. C. et al. Adaptability and stability of maize hybrids in unreplicated multienvironment trials. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 50, n. 1, p. 83–89, 2019.

EVSTATIEV, B. I.; GABROVSKA-EVSTATIEVA, K. G. A review on the methods for big data analysis in agriculture. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1032, n. 1, 2021.

FAO. **Oat Cereals, Crops**. Disponível em: <https://world-crops.com/crop-production/>. Acesso em: 8 nov. 2021.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem**

Multivariada com Excel, SPSS E Stata. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA, D. Structural imaging in dementia with Lewy bodies: the potential of multivariate data analysis. **Psychiatry Research - Neuroimaging**, v. 306, n. June, p. 111180, 2020.

FILHO, A. C.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. **Experimentação agrícola e florestal**. Santa Maria: UFSM, 2009.

FLECK, L. et al. Redes Neurais Artificiais: Princípios Básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 13, p. 47–56, 2016.

FRANÇA-SILVA, F. et al. Detection of drechslera avenae (Eidam) sharif [helminthosporium avenae (eidam)] in black oat seeds (avena strigosa schreb) using multispectral imaging. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 12, p. 1–10, 2020.

FREIRIA, G. H. et al. Statistical methods to study adaptability and stability in breeding lines of food-type soybeans. **Bragantia**, v. 77, n. 2, p. 253–264, 2018.

GOLDBARG, M. C. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOMES, F. M. et al. Estudo comparativo entre os métodos gradiente reduzido generalizado e algoritmo genético em otimização com múltiplas respostas. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 2, p. 592, 2017.

GRIGOLO, S. et al. Implications of univariate and multivariate analyses on the dissimilarity of common bean accessions. **Revista de Ciencias Agroveterinarias**, v. 17, n. 3, p. 351–360, 2018.

HAIGH, P. M.; BRADSHAW, N. J. Effect of cultivar and fungicide treatment on the yield and nutritive value of winter and spring oat grains grown in England and Wales, 1989-91. **Journal of Agricultural Science**, v. 130, n. 4, p. 411–421, 1998.

HAIR, J. J. F.; BLACK, W. C.; SANT'ANNA, A. S. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HASSAAN, M. A.; EL NEMR, A. Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 3, p. 207–220, 2020.

HAWERROTH, M. C. et al. Correlations among industrial traits in oat cultivars grown in different locations of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1182–1189, 2015.

HECHT-NIELSEN, R. Theory of the backpropagation neural network. p. 593–605, 1989.

HIKISHIMA, M. et al. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 2, p. 096–103, 2010.

HINNAH, F. D. et al. Weather-based coffee leaf rust apparent infection rate modeling. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 10, p. 1847–1860, 2018.

HOCAOGLU, O.; AKCURA, M. Decision making on nitrogen management of oat (Avena sativa) using grain yield potential and nitrogen use efficiency. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 25, n. 2, p. 208–215, 2020.

HOCKING, R. R. A Biometrics Invited Paper. The Analysis and Selection of Variables in Linear Regression. **Biometrics**, v. 32, n. 1, p. 1, 1976.

HOLLAND, P. T. et al. Pesticides report 31: Effects of storage and processing on pesticide residues

in plant products (Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 335–356, 1994.

HSIEH, J.-Y. et al. Building the Rice Blast Disease Prediction Model based on Machine Learning and Neural Networks. **EasyChair Preprint**, n. 1197, 2019.

ISIDRO-SÁNCHEZ, J. et al. Genomic approaches for climate resilience breeding in oats. In: **Genomic Designing of Climate-Smart Cereal Crops**. [s.l.] Springer, 2020. p. 133–169.

JIANG, G. et al. Profiling and characterization of oat cultivars (Avena sativa L.) with respect to bioactive compounds, pesticide residues and mycotoxin. **International Journal of Food Properties**, v. 24, n. 1, p. 1187–1201, 2021.

KAUR, S. et al. Biochemical characterization of oat (Avena sativa L.) genotypes with high nutritional potential. **LWT - Food Science and Technology**, v. 110, p. 32–39, 2019.

KAVALCO, S. A. F. et al. Análise de trilha em genótipos de trigo submetidos ao estresse por encharcamento. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 35, n. 4, p. 1683–1695, 2014.

KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997.

KOCIRA, S. Concepts and Methods of Mathematic Modelling of Plant Growth and Development. Plant Germination -Part I. **Agricultural Engineering**, v. 22, n. 3, p. 11–20, 2018.

KRÜGER, C. A. M. B. et al. Rapeseed population arrangement defined by adaptability and stability parameters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 36–41, 2016.

KUTASY, E. et al. Mitigating the negative effect of drought stress in oat (Avena sativa L.) with silicon and sulphur foliar fertilization. **Plants**, v. 11, n. 1, 2022.

LÂNGARO, N. C.; CARVALHO, I. Q. **Indicações técnicas para a cultura da aveia: XXXIV Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia**. Passo Fundo: UPF Editora, 2014.

LARA, L. M. et al. Methods of Soybean Genotypes Selection in Paraná State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 100, 2019.

LEOCI, R.; RUBERTI, M. Pesticides: An Overview of the Current Health Problems of Their Use. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 09, n. 08, p. 1–20, 2021.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2012.

LOPATIEV, A. et al. Systemic approach and mathematical modeling in physical education and sports. **Journal of Physical Education and Sport**, v. 17, n. 1, p. 146–155, 2017.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. DE. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518–534, 2018.

LOVATTO, M. et al. Crown rust on oat genotypes with different levels of resistance: damages and losses. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 3, p. 1–9, 2021.

MA, B.-L.; ZHENG, Z.; REN, C. OAT. In: **Crop Physiology Case Histories for Major Crops**. [s.l.] Academic Press, 2019. v. 1p. 105–112.

MACEDO-CRUZ, A. et al. Digital image sensor-based assessment of the status of oat (Avena sativa L.) crops after frost damage. **Sensors**, v. 11, n. 6, p. 6015–6036, 2011.

MACIEL, G. M. et al. Multivariate techniques in the determination of genetic diversity in pest-resistant mini tomato genotypes. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 504–509, 2018.

MANTAI, R. D. et al. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 4, p. 343–349, 2015.

MANTAI, R. D. et al. Simulation of oat grain (Avena sativa) using its panicle components and nitrogen fertilizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 40, p. 3975–3983, 2016a.

MANTAI, R. D. et al. The Dynamics of Relation Oat Panicle with Grain Yield by Nitrogen. **American Journal of Plant Sciences**, v. 07, n. 01, p. 17–27, 2016b.

MANTAI, R. D. et al. Nitrogen levels in oat grains and its relation to productivity. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, n. 4, p. 1–13, 2020a.

MANTAI, R. D. et al. Nitrogen management in the relationships between oat inflorescence components and productivity. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 385–393, 2020b.

MANTAI, R. D. et al. Technical and agronomic efficiency of nitrogen use on the yield and quality of oat grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 25, n. 8, p. 529–537, 2021a.

MANTAI, R. D. et al. Contribution of nitrogen on industrial quality of oat grain components and the dynamics of relations with yield. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 3, p. 334–342, 2021b.

MARCOS, V. R. et al. The management of sowing density on yield and lodging in the main oat biotype grown in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1935–1944, 2016.

MARCOS, V. R. et al. The sowing density on oat productivity indicators. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 11, p. 905–915, 2017.

MARCUZZO, L. L.; TEIXEIRA, V. R. Caracterização do progresso da queima das folhas em diferentes genótipos de cenoura. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 2, p. 219–222, 2019.

MAROLLI, A. et al. Oat yield through panicle components and growth regulator. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 261–266, 2017.

MAROLLI, A. et al. A simulação da biomassa de aveia por elementos climáticos, nitrogênio e regulador de crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 535–544, 2018.

MARSHALL, A. et al. Crops that feed the world 9. Oats- a cereal crop for human and livestock feed with industrial applications. **Food Security**, v. 5, n. 1, p. 13–33, 2013.

MARTINELLI, J. A. et al. Expressão da resistência parcial à ferrugem da folha da aveia presente na linhagem MN841801, no ambiente do Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1335–1342, ago. 2009.

MAULUD, D.; ABDULAZEEZ, A. M. A Review on Linear Regression Comprehensive in Machine Learning. **Journal of Applied Science and Technology Trends**, v. 1, n. 4, p. 140–147, 2020.

MAY, W. E. et al. Are fungicide applications to control crown rust of oat beneficial? **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 5, p. 911–922, 2014.

MAY, W. E.; BRANDT, S.; HUTT-TAYLOR, K. Response of oat grain yield and quality to nitrogen fertilizer and fungicides. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 1021–1034, 2020.

MEKONNEN, B.; SIRAJ, J.; NEGASH, S. Determination of Pesticide Residues in Food Premises Using QuECHERS Method in Bench-Sheko Zone, Southwest Ethiopia. **BioMed Research International**, v. 2021, 2021.

MICHELON, G. K. et al. Artificial neural networks to estimate the productivity of soybeans and corn by chlorophyll readings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 10, p. 1285–1292, 2018.

MONTESINOS, P.; CAMACHO, E.; ALVAREZ, S. Seasonal furrow irrigation model with genetic algorithms (OPTIMEC). **Agricultural Water Management**, v. 52, n. 1, p. 1–16, 2001.

MOURA, G. B. DE A. et al. Identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil utilizando análise de correlação canônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1463–1482, 2020.

NASERI, B.; KAZEMI, H. Structural characterization of stripe rust progress in wheat crops sown at different planting dates. **Heliyon**, v. 6, n. 11, p. e05328, 2020.

NAVA, I. C.; PACHECO, M. T.; FEDERIZZI, L. C. URS Altiva – A new oat cultivar with high agronomic performance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 254–260, 2016.

NAZARENO, E. S. et al. Puccinia coronata f. sp. avenae: a threat to global oat production. **Molecular Plant Pathology**, v. 19, n. 5, p. 1047–1060, 2018.

NEISSE, A. C.; HONGYU, K. Aplicação de Componentes Principais e Análise Fatorial a Dados Criminais de 26 Estados dos Eua. **Engineering and Science**, v. 5, n. 2, p. 105–115, 2016.

NERBASS, J. M. et al. Modelos de pontos críticos para relacionar o rendimento de grãos de aveia branca com a intensidade de doença no patossistema múltiplo ferrugem da folha - Helmintosporiose. **Ciencia Rural**, v. 40, n. 1, p. 18–23, 2010.

NETO, D. O. et al. Adaptability and Stability of Safflower Genotypes for Oil Production. **Plants**, v. 11, p. 708, 2022.

NETO, S. et al. White oat agronomic performance and cultivar reactions to leaf rust and leaf spot. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 24, 2019.

NICOLOPOULOU-STAMATI, P. et al. Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. **Frontiers in Public Health**, v. 4, p. 1–8, 2016.

ODA, M. C. et al. Adaptability and yield stability of soybean genotypes by mean Eberhart and Russell methods, artificial neural networks and centroid. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 8, p. 1–13, 2021.

OLIVEIRA, E. A. DE P. et al. Fungicida foliar e ambientes de cultivo na qualidade fisiológica de sementes de aveia branca granífera. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 15–24, 2014.

PAL, S. K.; WANG, P. P. **Genetic Algorithms for Pattern Recognition**. New York: CRC Press, 2018.

PANSERA, V. et al. Dose and form of nitrogen supply in the relationship dynamics of wheat ear components with yield in cropping systems. **Genetics and Molecular Research**, v. 21, n. 1, p. 1–14, 2022.

PARSONS, D. J.; TE BEEST, D. Optimising fungicide applications on winter wheat using genetic algorithms. **Biosystems Engineering**, v. 88, n. 4, p. 401–410, 2004.

PATIL, R. R.; KUMAR, S. Predicting rice diseases across diverse agro-meteorological conditions using an artificial intelligence approach. **PeerJ Computer Science**, v. 7, p. 1–25, 2021.

PATURI, U. M. R.; DEVARASETTI, H.; NARALA, S. K. R. Application of Regression and Artificial Neural Network Analysis in Modelling of Surface Roughness in Hard Turning of AISI 52100 Steel. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 4766–4777, 2018.

PAUL, P. A.; MUNKVOLD, G. P. Regression and artificial neural network modeling for the prediction of gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, v. 95, n. 4, p. 388–396, 2005.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 447–453, 2004.

PELEGRIN, A. J. DE et al. Path analysis between yield components of wheat under different top-dressing nitrogen management. **Communications in Plant Sciences**, v. 10, n. 2020, 2020.

PEREIRA, L. M. et al. A utilização de fungicida no cultivo de aveia: uma revisão integrativa da literatura Fungicide. **Research, Society and Development**, v. 9, 2020.

PEREIRA UCHOA, S. C. et al. Doses and potassium partitioning methods in soybean production components in an Amazonian savanna. **Revista Agro@Mbiente on-Line**, v. 12, n. 4, p. 258, 2018.

PIETRAVALLE, S. et al. Modeling of Relationships between Weather and Septoria tritici Epidemics on Winter Wheat: A Critical Approach. **Phytopathology**, v. 93, n. 10, p. 1329–1339, 2003.

PINTO, C. W. et al. Characterization of oat biomass for energy production. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 537–547, 2021.

PLUTH, T. B. et al. Epidemiological profile of cancer patients from an area with high pesticide use. **Saúde em Debate**, v. 44, n. 127, p. 1005–1017, 2020.

POLTOSI, L. A. C.; LEMKE, N. Aplicação de Algoritmos Genéticos no projeto de transformadores. **Revista Liberato**, v. 10, n. 14, p. 167–174, 2009.

RAMEZANPOUR, M. R.; FARAJPOUR, M. Application of artificial neural networks and genetic algorithm to predict and optimize greenhouse banana fruit yield through nitrogen, potassium and magnesium. **PLoS ONE**, v. 17, n. 2, p. 1–12, 2022.

RANI, L. et al. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, p. 124657, 2021.

RANZI, C.; FORCELINI, C. A. Aplicação curativa de fungicidas e seu efeito sobre a expansão de lesão da mancha-amarela do trigo. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 9, p. 1576–1581, 2013.

REGINATTO, D. C. et al. Nitrogen management at sowing and topdressing with the time of supply in the main biotype of oats grown in southern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 4, p. 524–530, 2021.

ROCHA, V. P. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade da característica produtividade de grãos dos grupos comerciais carioca e preto de feijão. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 31, n. 1, p. 39–54, 2010.

RODRIGUES, F. L. et al. Metaheurística Simulated Annealing para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 247–256, 2004.

RODRÍGUEZ, J. A. C. et al. Fungal diseases in two north-west Spain vineyards: Relationship with meteorological conditions and predictive aerobiological model. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020.

ROTHER, V. et al. Uni-and multivariate methods applied to the study of the adaptability and stability of white oat. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 54, 2019.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J. et al. Higher rust resistance and similar yield of oat landraces versus cultivars under high temperature and drought. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 1, 2017.

SAUSEN, A.; SAUSEN, P.; SAWICKI, S. **Pesquisas aplicadas em modelagem matemática**. Ijuí: Unijuí, 2015.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507, 1974.

SCREMIN, O. B. et al. Nitrogen efficiency in oat yield through the biopolymer hydrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 379–385, 2017.

SEMNANINEJAD, H. et al. Correlation and path coefficient analyses of phenological traits, yield components and quality traits in wheat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 9, p. 597–603, 2021.

SHANKAR, P.; JOHNEN, A.; LIWICKI, M. Data fusion and artificial neural networks for modelling crop disease severity. **Proceedings of 2020 23rd International Conference on Information Fusion, FUSION 2020**, n. Dm, 2020.

SHARMA, J. R. **Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding**. [s.l.] New Age International Publisher, 2006.

SHARMA, P.; SINGH, B. K.; SINGH, R. P. Prediction of Potato Late Blight Disease Based Upon Weather Parameters Using Artificial Neural Network Approach. **2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2018**, p. 1–13, 2018.

SILVA, J. A. G. DA et al. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 27–33, 2015.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SILVA, V. M.; DE MATTOS, V. L. D. O método dos mínimos quadrados no ajuste de um modelo polinomial. **Scientia Plena**, v. 13, n. 4, p. 1–8, 2017.

SILVESTRE, A. L. **Analise de Dados e Estatistica Descritiva**. [s.l.] Escolar Editora, 2007.

SINGH, D. The relative importance of characters genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, p. 237–245, 1981.

SIVANANDAM, S. N.; DEEPA, S. N. **Introduction to genetic algorithms**. Heidelberg: Springer Berlin, 2018.

SMULDERS, M. J. M. et al. Oats in healthy gluten-free and regular diets: A perspective. **Food Research International**, v. 110, p. 3–10, 2018.

SOARES, F. C. et al. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 11, p. 1987–1993, 2015.

SOUZA, A. G. DE et al. Estimating Elephant-Grass Adaptability and Stability for Energy-Biomass Production by Regression Models. **Journal of Agricultural Science**, v. 13, n. 3, p. 68, 2021.

SOUZA, M. J. F. et al. A hybrid heuristic algorithm for the open-pit-mining operational planning problem. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 2, p. 1041–1051, 2010.

SPONCHIADO, J. C. et al. Late nitrogen topdressing increases nutritional and industrial quality of white oat (Avena sativa) grain. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 9, p. 1355–1361, 2020.

TAMANG, S. et al. Role of abiotic factors on disease progression of Spot blotch of Wheat. **Indian Phytopathology**, v. 74, n. 1, p. 263–269, 2021.

TEDESCHI, L. O.; MENENDEZ, H. M. Mathematical modeling in animal production. **Animal Agriculture: Sustainability, Challenges and Innovations**, p. 431–453, 2019.

TRAUTMANN, A. P. B. et al. Simulation of wheat yield by nitrogen and nonlinearity of environmental conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 44–51, 2020.

UARROTA, V. et al. Assessment of Yield Attributes and Industrial Quality Parameters of Oat Cultivars (Avena sativa L.) Using Multivariate Techniques (PCA, PLS-DA and OLS-R). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 17, n. 4, p. 1–13, 2017.

VAN DEN BERG, H. et al. Pesticide lifecycle management in agriculture and public health: Where are the gaps? **Science of the Total Environment**, v. 742, p. 140598, 2020.

VAN MAANEN, A.; XU, X. M. Modelling plant disease epidemics. **European Journal of Plant Pathology**, v. 109, n. 7, p. 669–682, 2003.

VILVERT, E. et al. Scientific evidence of sustainable plant disease protection strategies for oats in Sweden: a systematic map. **Environmental Evidence**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2021.

WANG, X. et al. The composition characteristics of different crop straw types and their multivariate analysis and comparison. **Waste Management**, v. 110, p. 87–97, 2020.

YOOSEFZADEH-NAJAFABADI, M.; TULPAN, D.; ESKANDARI, M. Application of machine learning and genetic optimization algorithms for modeling and optimizing soybean yield using its component traits. **PLOS ONE**, v. 16, n. 4 April, p. 1–18, 2021.

ZBIGNIEW, M. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**. 3. ed. New York: Springer, 1996.

ZHENG, Z. Y. et al. Artificial neural network – Genetic algorithm to optimize wheat germ fermentation condition: Application to the production of two anti-tumor benzoquinones. **Food Chemistry**, v. 227, p. 264–270, 2017.

ZUFFO, A. M. et al. Correlações e análise de trilha em cultivares de sjoa cultivadas em diferentes densidades de planta. **Cultura Agronômica**, v. 27, n. 1, p. 78–90, 2018.

ANEXO A - Principais características das cultivares de aveia branca indicadas para cultivo no Brasil.

As cultivares de aveia interagem com o ambiente em que são cultivadas (local, ano, época de semeadura e manejo da lavoura), podendo apresentar modificações em características como estatura, ciclo, rendimento de grãos e de matéria seca, peso do hectolitro, rendimento industrial e reação a moléstias (DANIELOWSKI, 2021; LÂNGARO; CARVALHO, 2014). Segue abaixo as principais características das cultivares de aveia branca indicadas para cultivo no Brasil.

1. URS ALTIVA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2015

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: precoce
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: ereta
Frequência de aristas: muito baixa
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarelo
Hábito de crescimento: ereto

RESISTÊNCIA
Ferrugem da folha: suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente resistente

2. URS BRAVA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2012

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: precoce
Estatura da planta: Alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: baixa
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarelo
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA
Ferrugem da folha: resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente resistente

3. URS GUARÁ

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2011

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: precoce
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: decumbente
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA
Ferrugem da folha: resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente suscetível

4. URS ESTAMPA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2011

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: médio
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarelo
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: suscetível
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: resistente

5. URS CORONA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: decumbente
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: intermediário

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: resistente

Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente suscetível

6. URS TORENA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio
Estatura da planta: média
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: presente baixa
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: suscetível

7. URS CHARRUA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce
Estatura da planta: muito alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: resistente
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente suscetível

8. URS GURIA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: baixa
Forma da panícula: equilateral

Cor do grão: amarelo
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: suscetível

9. URS TARIMBA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2009

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce
Estatura da planta: média
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: moderadamente suscetível

10. URS TAURA

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2009

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce
Estatura da planta: baixa
Posição da folha bandeira: ereta
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: ereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: suscetível
Ferrugem do colmo: suscetível
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: resistente

11. URS 21

Entidade criadora: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2000

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce

Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: presente baixa
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente resistente
Acamamento: suscetível

12. FAEM 007

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Demais informações não foram encontradas.

13. FAEM 006

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Demais informações não foram encontradas.

14. FAEM 5 CHIARASUL

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio
Estatura da planta: média
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: parcialmente unilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis
Acamamento: moderadamente resistente

15. FAEM 4 CARLASUL

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: médio
Estatura da planta: média
Posição da folha bandeira: ereta a intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: parcialmente unilateral

Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis
Acamamento: moderadamente resistente

16. BRISASUL

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Ano de lançamento: 2009

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio a precoce
Estatura da planta: baixa
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: parcialmente unilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente suscetível
Acamamento: moderadamente resistente

17. BARBARASUL

Entidade criadora: Universidade Federal de Pelotas
Ano de lançamento: 2008

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: precoce
Estatura da planta: baixa
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: ausente
Forma da panícula: parcialmente unilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: semiereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Sensibilidade à geada: moderadamente suscetível
Acamamento: moderadamente resistente

18. URS FAPA SLAVA

Entidade criadora: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária/Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ano de lançamento: 2010

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: tardio
Estatura da planta: intermediária
Posição da folha-bandeira: intermediária
Frequência de aristas: baixa
Forma da panícula: unilateral
Cor do grão: clara
Hábito de crescimento: semivertical

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: suscetível
Ferrugem do colmo: resistente
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis

19. IPR AFRODITE

Entidade criadora: Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
Ano de lançamento: 2012

CARACTERÍSTICAS
Ciclo: médio
Estatura da planta: média
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: presente média
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: intermediário

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente resistente
Manchas foliares: moderadamente resistente
Nematoides do gênero Meloidogyne ssp: resistente
Acamamento: moderadamente resistente

20. UPFPS FARROUPILHA

Entidade criadora: Universidade de Passo Fundo
Ano de lançamento: 2012

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: intermediária
Frequência de aristas: baixa
Coloração da panícula: amarela
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: branca
Hábito de crescimento: ereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente suscetível
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis
Acamamento: moderadamente resistente

21. UPFA OURO

Entidade criadora: Universidade de Passo Fundo
Ano de lançamento: 2011

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio-tardio
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: ereta
Frequência de aristas: média
Coloração da panícula: amarela
Forma da panícula: equilateral
Cor do grão: amarela
Hábito de crescimento: ereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente resistente
Ferrugem do colmo: moderadamente suscetível
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis
Tolerância ao acamamento: moderadamente resistente

22. UPFA GAUDÉRIA

Entidade criadora: Universidade de Passo Fundo
Ano de lançamento: 2009

CARACTERÍSTICAS:
Ciclo: médio
Estatura da planta: alta
Posição da folha bandeira: semiereta
Frequência de aristas: baixa
Coloração da panícula: amarela
Forma da panícula: parcialmente unilateral
Cor do grão: amarelo
Hábito de crescimento: ereto

RESISTÊNCIA:
Ferrugem da folha: moderadamente suscetível
Ferrugem do colmo: moderadamente suscetível
Sensibilidade à geada: sem informações disponíveis
Tolerância ao acamamento: moderadamente suscetível