REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

LÓGICA FUZZY PARA IDENTIFICAÇÃO DE GENITORES DE AVEIA BRANCA TOLERANTES AO EXCESSO HÍDRICO NOS ESTÁGIOS INICIAIS DE DESENVOLVIMENTO

FUZZY LOGIC FOR IDENTIFYING WHITE OAT PARENTS TOLERANT TO EXCESS WATER IN THE EARLY STAGES OF DEVELOPMENT

LÓGICA DIFUSA PARA IDENTIFICAR PROGENITORES DE AVENA BLANCA TOLERANTES AL EXCESO DE AGUA EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO

Murilo Vieira Loro
Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: murililoro@gmail.com

Vitória Larrosa Bueno
Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: vitorialarrosabueno@icloud.com

Angélica Guareschi
Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: angélicaguareschi@gmail.com

Giovanni Matheus Froehlich
Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: giovannifroehlich635@gmail.com

Ivan Ricardo Carvalho
Doutor em Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: carvalho.irc@gmail.com

Pedro Henrique Pereira Nunes
Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: pereiranunes@gmail.com

Diovana Thays Schlosser
Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: diovanatschlosser@gmail.com

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

Rodrigo Pereira Soares
Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: pereirasoares@gmail.com

Lívia Amaral Koakoski
Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: liviakoakoski@gmail.com

Resumo: O excesso hídrico do solo constitui um dos principais fatores limitantes ao estabelecimento e ao desempenho produtivo de culturas de inverno, especialmente em regiões sujeitas a alagamentos temporários. Objetivou-se identificar genitores de aveia branca tolerantes ao excesso hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento por meio da aplicação da lógica fuzzy. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com dez genótipos de aveia branca e três regimes hídricos (capacidade de campo, intermitente e inundado), com três repetições. Foram avaliados caracteres morfológicos e produtivos, com aplicação de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani para obtenção dos índices de vigor inicial, desempenho produtivo e eficiência produtiva. Os regimes de excesso hídrico do solo intermitente e inundado reduzem o desenvolvimento inicial e o desempenho produtivo da aveia branca. Os genótipos UPFA Ouro, URS Brava, URS Altanera e URS Alteza destacam-se quanto à estabilidade produtiva, sendo promissores para uso como genitores em programas de melhoramento genético voltados a ambientes com elevada variabilidade hídrica.
Palavras-chave: *Avena sativa L.;* estresse hídrico; melhoramento de plantas; inferência fuzzy; tolerância ao alagamento.

Abstract: Soil water excess is one of the main limiting factors for the establishment and productive performance of winter crops, especially in regions subject to temporary flooding. This study aimed to identify white oat parents tolerant to soil water excess at the early developmental stages through the application of fuzzy logic. The experiment was conducted under greenhouse conditions in a completely randomized design, with ten white oat genotypes and three water regimes (field capacity, intermittent, and flooded), with three replications. Morphological and productive traits were evaluated, and a Mamdani-type fuzzy inference system was applied to obtain indices of initial vigor, productive performance, and productive efficiency. Soil water excess regimes (intermittent and flooded) reduce early development and productive performance of white oat. The genotypes UPFA Ouro, URS Brava, URS Altanera, and URS Alteza stand out in terms of productive stability and are promising for use as parents in breeding programs aimed at environments with high water variability.
Keywords: *Avena sativa L.;* water stress; plant breeding; fuzzy inference; flooding tolerance.

Resumen: El exceso hídrico del suelo constituye uno de los principales factores limitantes para el establecimiento y el desempeño productivo de los cultivos de invierno, especialmente en regiones sujetas a inundaciones temporales. El objetivo de este estudio fue identificar progenitores de avena blanca tolerantes al exceso hídrico en las etapas iniciales de desarrollo mediante la aplicación de la lógica difusa. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, bajo un diseño completamente aleatorizado, con diez genotipos de avena blanca y tres regímenes hídricos (capacidad de campo, intermitente e inundado), con tres repeticiones. Se evaluaron caracteres morfológicos y productivos, aplicándose un sistema de inferencia difusa de tipo Mamdani para la obtención de los índices de vigor inicial, desempeño productivo y eficiencia productiva. Los regímenes de exceso hídrico del suelo (intermitente e inundado) reducen el desarrollo inicial y el desempeño productivo de la avena blanca. Los genotipos UPFA Ouro, URS Brava, URS Altanera y URS Alteza se destacan por su estabilidad productiva, siendo prometedores para su uso como progenitores en programas de mejoramiento genético orientados a ambientes con alta variabilidad hídrica.
Palabras clave: *Avena sativa L.;* estrés hídrico; mejoramiento de plantas; inferencia difusa; tolerancia al anegamiento.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

1. Introdução

O excesso hídrico do solo é um estresse abiótico recorrente em sistemas agrícolas de regiões subtropicais e constitui fator limitante ao estabelecimento e à produtividade de cereais de inverno, sobretudo quando ocorre nos estádios iniciais de desenvolvimento (Rosa et al., 2015; Tong et al., 2021; Zhang et al., 2025). Nessas condições, a restrição da difusão de oxigênio na rizosfera compromete processos fisiológicos, afetando o crescimento inicial e a capacidade produtiva das plantas (Xu et al., 2024). A magnitude desses efeitos, entretanto, varia entre genótipos, evidenciando a existência de variabilidade genética passível de exploração em programas de melhoramento.

A identificação de genitores de aveia branca tolerantes ao excesso hídrico é uma das principais estratégias para ampliar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva em ambientes alagados. A tolerância ao alagamento resulta da interação de caracteres morfológicos e produtivos, sendo necessário avaliar simultaneamente vários caracteres agronômicos (Tong et al., 2021). Em aveia branca, estudos recentes indicam que a cultura apresenta ampla variabilidade genética quanto à resposta ao alagamento temporário, incluindo capacidade de compensação produtiva (Arduini et al., 2019; Pitann; Mühling, 2024).

A avaliação multicaracterística da tolerância ao excesso hídrico impõe desafios metodológicos ao melhoramento, uma vez que os caracteres envolvidos apresentam relações não lineares e elevados níveis de incerteza. Nesse cenário, a lógica fuzzy tem se destacado como método eficiente para integrar informações agronômicas distintas e sintetizar o desempenho dos genótipos em índices interpretáveis (Huang et al., 2010; Widayat et al., 2024). Aplicações recentes no melhoramento genético demonstram a eficácia dessa abordagem na análise de adaptabilidade, estabilidade e desempenho fenotípico sob condições contrastantes, incluindo estresses abióticos em algodão (Cardoso et al., 2021), feijão (Carneiro et al., 2023) e arroz (Maciel et al., 2025).

Considera-se que genótipos de aveia branca possam apresentar respostas contrastantes ao excesso hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento e que a integração de caracteres morfológicos e produtivos por meio da lógica fuzzy possa

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

contribuir para uma avaliação precisa do desempenho dos genótipos sob essas condições. Essa abordagem tem potencial para auxiliar na identificação de genitores com maior tolerância e estabilidade produtiva, fornecendo subsídios para o direcionamento de estratégias de seleção e cruzamentos em ambientes sujeitos ao alagamento. Nesse sentido, objetivou-se identificar genitores de aveia branca tolerantes ao excesso hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento por meio da aplicação da lógica fuzzy.

2. Material e Métodos

Desenho experimental

O experimento foi conduzido no ano de 2025 em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A região apresenta clima classificado como subtropical úmido (Cfa), conforme descrito por Alvares et al. (2013). Foram avaliados dez genótipos de aveia branca (URS Altanera, URS Alteza, URS Brava, URS Corona, URS Olada, UPFA Ouro, URS Pujante, URS Realeza, URS Taura e URNRS22), em três regimes hídricos (solo em capacidade de campo, solo em regime hídrico intermitente e solo em regime inundado) em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 90 unidades experimentais. Os genótipos de aveia branca foram semeados em vasos plásticos com capacidade de 7,50 litros no dia 09 de abril de 2025. O solo utilizado nos vasos foi coletado na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (Santos et al., 2018). A emergência das plântulas ocorreu no dia 13 de abril de 2025, onde foram mantidas dez plantas por vaso.

Em todos os regimes hídricos, o solo foi mantido com água na capacidade de campo até dez dias após a emergência das plantas. No tratamento correspondente ao regime hídrico de capacidade de campo, essa condição foi mantida continuamente até a maturidade fisiológica das plantas. No regime hídrico intermitente, a partir de dez dias após a emergência, o solo dos vasos foi submetido a ciclos sucessivos de alagamento e drenagem, simulando condições de excesso hídrico temporário. Para esse tratamento, os vasos permaneceram com uma lâmina de água de dois centímetros acima do solo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

por dois dias, seguida de drenagem e de um período de cinco dias sem irrigação. Esse ciclo foi repetido até 44 dias após a emergência. No regime hídrico inundado, a partir de dez dias após a emergência, os vasos foram mantidos continuamente com uma lâmina de água de dois centímetros acima do solo por 44 dias após a emergência. A reposição de água nos vasos foi realizada diariamente. Após o período de 44 dias, os vasos submetidos aos regimes hídricos intermitente e inundado passaram a ser mantidos em regime hídrico de capacidade de campo até a maturidade fisiológica das plantas.

No regime hídrico intermitente, os vasos foram revestidos externamente com sacos plásticos, com o objetivo de manter o volume de água durante o período de alagamento. Após dois dias, os sacos plásticos foram removidos para permitir a drenagem da água, e, após cinco dias, os vasos foram novamente revestidos para o reinício do ciclo de alagamento. No regime hídrico inundado, os vasos foram revestidos internamente com sacos plásticos, a fim de evitar perdas de água por vazamento. Aos 44 dias após a emergência, os sacos plásticos do regime hídrico intermitente foram removidos, enquanto, no regime hídrico inundado, os sacos foram perfurados na extremidade inferior para permitir o escoamento do excesso de água.

Caracteres avaliados

Aos 44 dias após a emergência, cinco plantas foram coletadas, aleatoriamente, em cada vaso para avaliação dos seguintes caracteres: altura da planta no estádio vegetativo (AP, cm), obtida com auxílio de uma régua graduada da base da planta até a inserção da última folha expandida; número de folhas (NF), obtido pela contagem das folhas no colmo principal; área foliar da planta (AF, cm^2), as folhas das cinco plantas foram fotografadas por meio de uma câmera e posteriormente avaliadas no software R com a função *analyze_objects()* do pacote *metan*; massa fresca da folha (MFF, g), obtida pela pesagem das folhas do colmo principal; massa fresca do colmo (MFC, g), obtida pela pesagem do colmo principal; e massa seca da planta (MSP, g), obtida após a secagem das folhas e do colmo principal à temperatura de 60 ºC em estufa de circulação forçada. Na maturidade fisiológica, em cinco plantas foram avaliados os seguintes caracteres: altura da planta na maturidade fisiológica (APM, cm), obtida com auxílio de uma régua

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

graduada da base da planta até a inserção da última folha expandida; massa da panícula (MP, g), obtida pela pesagem da panícula; e massa de grãos da panícula (MG, g), obtida pela pesagem dos grãos da panícula.

Análises estatísticas

Realizou-se a análise de variância e o teste F a 5% de significância. As médias dos tratamentos foram agrupadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de significância. A lógica fuzzy foi aplicada por meio de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani, estruturado em três blocos hierárquicos, correspondentes a diferentes fases do desenvolvimento da cultura. A unidade de análise fuzzy foi a repetição experimental, de modo que os índices fuzzy foram calculados individualmente para cada repetição, preservando a variabilidade biológica. Para avaliar a resposta dos genótipos aos regimes hídricos foram utilizados os seguintes caracteres agronômicos como entradas no sistema fuzzy: número de folhas (NF), massa seca da planta (MSP), massa da panícula (MP) e massa de grãos da panícula (MG). Os caracteres foram normalizados para o intervalo [0, 1] utilizando a transformação linear baseada nos valores mínimo e máximo observados no conjunto de dados:

$$x_{norm} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

A normalização foi aplicada separadamente a cada caractere, garantindo comparabilidade entre caracteres originalmente expressos em diferentes unidades. Para todos os caracteres de entrada e saída foram definidos três conjuntos fuzzy linguísticos: baixo, médio e alto. Os conjuntos foram modelados por funções de pertinência triangulares, com os seguintes parâmetros: baixo: (0,0; 0,0; 0,4), médio: (0,3; 0,5; 0,7) e alto: (0,6; 0,8; 1,0). Essa configuração foi adotada por representar adequadamente condições agronômicas limitantes (baixo), funcionais (médio) e desejáveis (alto), além de garantir sobreposição entre conjuntos adjacentes e evitar funções degeneradas. A função de pertinência triangular foi definida como:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ ou } x \geq c \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 1, & x = b \end{cases}$$

em que x é o que está sendo testado e “a”, “b” e “c” são os limites dos triângulos.

O sistema fuzzy foi estruturado em três conjuntos de variáveis linguísticas sequenciais (Tabela 1). O primeiro conjunto foi definido para representar o equilíbrio entre NF e MSP como determinante do vigor inicial (VI). No segundo conjunto, a MG foi considerada a variável dominante, enquanto a MP ajusta a classificação final. O terceiro conjunto linguístico avalia a capacidade do genótipo em converter vigor inicial em produtividade de grãos, chamado de eficiência produtiva (EP).

Tabela 1 - Sistema de regras da inferência Fuzzy para os caracteres de i) entrada: número de folhas (NF) e massa seca da planta (MSP, g) e saída: vigor inicial (VI); ii) entrada: massa de grãos da panícula (MG, g) e massa da panícula (MP, g) e saída: desempenho produtivo (DP); e iii) entrada: vigor inicial (VI) e desempenho produtivo (DP) e saída: eficiência produtiva (EP) de dez genótipos de aveia branca avaliados em regimes hídricos de solo em capacidade de campo, solo em regime hídrico intermitente e solo em regime hídrico inundado.

Vigor Inicial (VI)			
Regras	NF	MSP	VI
R1	Alto	Alto	Alto
R2	Baixo	Baixo	Baixo
R3	Médio	Médio	Médio
R4	Alto	Baixo	Médio
R5	Baixo	Alto	Médio
Desempenho produtivo (DP)			
Regras	MG	MP	DP
R6	Alto	Alto	Alto
R7	Alto	Baixo	Médio
R8	Médio	Médio	Médio
R9	Baixo	Baixo	Baixo
R10	Baixo	Alto	Médio
Eficiência produtiva (EP)			
Regras	VI	DP	EP
R11	Alto	Alto	Alto
R12	Alto	Baixo	Baixo
R13	Baixo	Alto	Alto

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

R14	Baixo	Baixo	Baixo
R15	Médio	Médio	Médio

A inferência fuzzy foi realizada pelo método de Mamdani, utilizando o operador mínimo para a conjunção lógica "E" e o operador máximo para a agregação das regras. Para cada regra, o grau de ativação foi determinado pelo menor grau de pertinência das variáveis de entrada envolvidas. A defuzzificação foi realizada pelo método da média ponderada, atribuindo-se os valores numéricos 0, 0.5 e 1 aos conjuntos de saída baixo, médio e alto, respectivamente:

$$Índice = \frac{\sum(\mu_i \cdot v_i)}{\sum \mu_i}$$

onde μ_i é o grau de ativação da regra i e v_i é o valor numérico associado à categoria de saída da regra. Quando nenhuma regra foi ativada, o índice foi definido como zero. Os índices fuzzy de VI, DP e EP foram calculados individualmente para cada repetição experimental. As médias por genótipo e regime hídrico foram posteriormente utilizadas para análise comparativa. Todas as análises foram realizadas por meio do software R (R Core Team, 2025).

3. Resultados e Discussão

Os efeitos principais de genótipo e de regime hídrico foram significativos para a maioria dos caracteres avaliados, com exceção da área foliar da planta (AF), que não apresentou efeito significativo nem de genótipo nem de regime hídrico, e da altura da planta na maturidade fisiológica (APM), para a qual o efeito do regime hídrico não foi detectado (Tabela 2). A interação genótipo × regime hídrico foi significativa apenas para a massa da panícula (MP) e para a massa de grãos da panícula (MG), indicando respostas diferenciadas dos genótipos quanto aos componentes produtivos sob distintos regimes hídricos. Essa resposta reforça a premissa de que os efeitos do excesso hídrico se manifestam de forma mais evidente nos caracteres diretamente associados ao rendimento, conforme descrito

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

para cereais de inverno submetidos à hipóxia radicular (Tong et al., 2021; Zhang et al., 2025). Os coeficientes de variação oscilaram de 11,05% para o número de folhas (NF) a 31,87% para a massa de grãos da panícula (MG), refletindo maior variabilidade experimental para os caracteres diretamente associados à produção, como esperado em condições de estresse abiótico (Xu et al., 2024). Em média, as plantas apresentaram 0,09 g de massa seca da planta (MSP) e 0,23 g de massa de grãos da panícula (MG).

Tabela 2 - Quadrado médio da análise de variância para os caracteres altura da planta no estádio vegetativo (AP, cm), número de folhas (NF), área foliar da planta (AF, cm^2), massa fresca da folha (MFF, g), massa fresca do colmo (MFC, g), massa seca da planta (MSP, g), altura da planta na maturidade fisiológica (APM, cm), massa da panícula (MP, g) e massa de grãos da panícula (MG, g) de dez genótipos de aveia branca avaliados em três regimes hídricos de solo: capacidade de campo, intermitente e inundado.

FV	GL	AP	NF	AF	MFF	MFC	MSP	APM	MP	MG
Genótipos (G)	9	91,956*	0,815*	67,008ns	0,064*	0,047*	0,003*	144,739*	0,042*	0,035*
Regime hídrico (RH)	2	33,847*	2,197*	8,455ns	0,432*	0,086*	0,014*	63,909ns	0,013*	0,014*
G x RH	18	3,856ns	0,109ns	39,855ns	0,011ns	0,005ns	0,001ns	29,304ns	0,024*	0,019*
Erro	60	6,500	0,135	45,618	0,013	0,008	0,001	37,181	0,006	0,006
Total	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV		21,37	11,05	28,74	20,83	26,01	24,74	13,05	29,69	31,87
Média		11,93	3,33	23,5	0,56	0,34	0,09	46,71	0,27	0,23

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; *significativo pelo teste F a 5%; ns não significativo.

O genótipo URS Olada destacou-se por apresentar as maiores médias de AP (19,39 cm) e NF (3,89 folhas) aos 44 dias após a emergência, superando os demais genótipos avaliados (Tabela 3). Esse desempenho indica maior vigor inicial, característica associada à capacidade de estabelecimento sob condições ambientais adversas (Tong et al., 2021). Em contraste, os genótipos URS Alteza, URS Brava e URS Realeza constituíram o grupo com maior acúmulo de biomassa, evidenciado pelas maiores médias de MFF (≥ 0,63 g), MFC (≥ 0,37 g) e MSP (≥ 0,10 g), além de apresentarem maiores valores de APM (≥ 47,51 cm). Esses resultados sugerem estratégias distintas de crescimento entre os genótipos, com implicações diretas para a seleção em programas de melhoramento, uma vez que

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

vigor inicial e acúmulo de biomassa nem sempre se traduzem em maior rendimento final (Arduini et al., 2019). Resultados indicam que a resposta ao alagamento é influenciada pelo genótipo e o estádio de desenvolvimento da aveia branca, e que existe variabilidade suficiente para explorar genótipos capazes de manter a produção em áreas sujeitas a encharcamento (Pitann; Mühling, 2024).

Tabela 3 - Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para os efeitos principais de genótipos para os caracteres altura da planta no estádio vegetativo (AP, cm), número de folhas (NF), área foliar da planta (AF, cm^2), massa fresca da folha (MFF, g), massa fresca do colmo (MFC, g), massa seca da planta (MSP, g) e altura da planta na maturidade fisiológica (APM, cm) de dez genótipos de aveia branca avaliados em três regimes hídricos de solo: capacidade de campo, intermitente e inundado.

Genótipos	AP	NF	AF	MFF	MFC	MSP	APM
URNRS22	9,16c*	2,91c	21,16a	0,45b	0,26b	0,07b	37,97b
URS Altanera	11,03c	3,22c	24,13a	0,50b	0,31b	0,10a	43,24b
URS Alteza	12,75b	3,64a	23,33a	0,63a	0,37a	0,10a	47,65a
URS Brava	10,89c	3,40b	23,62a	0,69a	0,39a	0,11a	52,57a
URS Corona	7,99c	3,00c	27,66a	0,63a	0,24b	0,09a	45,61a
URS Olada	19,39a	3,89a	27,91a	0,51b	0,46a	0,12a	49,20a
UPFA Ouro	9,79c	3,11c	22,54a	0,51b	0,28b	0,07b	49,42a
URS Pujante	13,74b	3,44b	19,34a	0,52b	0,32b	0,08b	48,67a
URS Realeza	13,36b	3,47b	24,17a	0,64a	0,42a	0,10a	47,51a
URS Taura	11,21c	3,18c	21,13a	0,48b	0,32b	0,09b	45,29a

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não se diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

O regime hídrico em capacidade de campo proporcionou as maiores médias de AP, NF, AF, MFF, MFC, MSP e APM (Tabela 4). Entretanto, os regimes intermitente e inundado não diferiram da capacidade de campo para os caracteres AF e APM, indicando que a resposta da aveia branca ao excesso hídrico, nos estádios iniciais de desenvolvimento, não está associada à limitação da expansão da área foliar nem à redução da altura da planta na maturidade fisiológica, mas principalmente a alterações no número de folhas e no acúmulo de massa seca. Esses resultados corroboram os de Rosa et al. (2015), que observaram ausência de diferença na área foliar entre períodos de alagamento em aveia branca,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

enquanto que o aumento da duração do alagamento promoveu redução no acúmulo de matéria seca de raiz, na razão de área foliar e na área foliar específica.

Tabela 4 - Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para os efeitos principais de regime hídrico para os caracteres altura da planta no estádio vegetativo (AP, cm), número de folhas (NF), área foliar (AF, cm^2), massa fresca de folha (MFF, g), massa fresca de colmo (MFC, g), massa seca da planta (MSP, g) e altura da planta na maturidade fisiológica (APM, cm) de dez genótipos de aveia branca avaliados em três regimes hídricos de solo: capacidade de campo, intermitente e inundado.

Regimes hídricos	AP*	NF	AF	MFF	MFC	MSP	APM
Capacidade de campo	12,78a	3,62a	24,01a	0,68a	0,39a	0,12a	47,46a
Intermitente	12,27a	3,27b	23,09a	0,55b	0,34b	0,09b	47,66a
Inundado	10,74b	3,09b	23,31a	0,44c	0,29c	0,07c	45,03a

*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não se diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

O genótipo UPFA Ouro integrou o grupo com as maiores médias de MP e MG, independentemente do regime hídrico adotado (Tabela 5). As médias de MP (0,32 a 0,37 g) e de MG (0,28 a 0,34 g) desse genótipo não diferiram entre os regimes hídricos, evidenciando estabilidade dos componentes produtivos sob condições contrastantes de disponibilidade de água. Dessa forma, infere-se que o genótipo UPFA Ouro apresenta maior tolerância ao excesso hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas. Essa resposta está alinhada com o conceito de tolerância ao excesso hídrico baseado na manutenção do rendimento, conforme descrito por Tong et al. (2021), e reforça o potencial do genótipo UPFA Ouro como genótipo adaptado a ambientes sujeitos à variabilidade hídrica.

Tabela 5 - Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para os efeitos da interação genótipos × regimes hídricos para os caracteres massa da panícula (MP, g) e massa de grãos da panícula (MG, g) de dez genótipos de aveia branca avaliados em três regimes hídricos de solo: capacidade de campo, intermitente e inundado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

Genótipos	Capacidade de campo	Intermitente	Inundado	Capacidade de campo	Intermitente	Inundado
	----------MP (g)----------			----------MG (g)----------		
URNRS22	0,14bA	0,09bA	0,16bA	0,12bA	0,07bA	0,14bA
URS Altanera	0,18bA	0,33aA	0,26bA	0,16bA	0,30aA	0,23bA
URS Alteza	0,28bA	0,28aA	0,32aA	0,26bA	0,25aA	0,28aA
URS Brava	0,46aA	0,16bB	0,43aA	0,42aA	0,14bB	0,39aA
URS Corona	0,27bA	0,26aA	0,23bA	0,25bA	0,22bA	0,21bA
URS Olada	0,43aA	0,21bB	0,22bB	0,37aA	0,20bB	0,19bB
UPFA Ouro	0,37aA	0,34aA	0,32aA	0,34aA	0,29aA	0,28aA
URS Pujante	0,14bA	0,17bA	0,26bA	0,12bA	0,15bA	0,22bA
URS Realeza	0,33aA	0,20bB	0,13bB	0,31aA	0,18bB	0,11bB
URS Taura	0,23bB	0,41aA	0,23bB	0,21bB	0,36aA	0,21bB

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não se diferem a 5% pelo teste de Scott-Knott. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não se diferem a 5% pelo teste de Scott-Knott.

Os índices fuzzy vigor inicial (VI), desempenho produtivo (DP) e eficiência produtiva (EP) evidenciaram respostas contrastantes entre os genótipos de aveia branca nos regimes hídricos (Tabela 6). Essa abordagem multi-característica é essencial em condições de excesso hídrico, nas quais os efeitos do estresse se manifestam de forma não linear e diferencial entre estádios fenológicos, conforme destacado por Tong et al. (2021) e Xu et al. (2024). Os genótipos URS Alteza e URS Pujante apresentaram os maiores valores de VI no regime hídrico de capacidade de campo, indicando melhor estabelecimento inicial das plantas sob condições adequadas de suprimento hídrico. Contudo, valores elevados de VI não se refletiram em maiores valores de DP ou EP, conforme observado por Arduini et al. (2019) e Pitann e Mühling (2024). Em genótipos como URS Pujante e URS Alteza, apesar do elevado VI, os índices de DP e EP permaneceram reduzidos, sugerindo baixa eficiência na conversão do crescimento vegetativo em produção de grãos. Os genótipos URS Olada e UPFA Ouro destacaram-se pelo maior DP, enquanto o genótipo URS Corona apresentou o maior valor de EP, indicando maior capacidade de conversão de biomassa em produtividade de grãos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

Tabela 6 - Valores do índice fuzzy* para vigor inicial (VI), desempenho produtivo (DP) e eficiência produtiva (EP) para dez genótipos de aveia branca cultivados sob três regimes hídricos (capacidade de campo, intermitente e inundado).

Genótipos	VI	DP	EP	VI	DP	EP	VI	DP	EP
	---------Capacidade de campo---------			-----Intermitente-----			-------Inundado-------		
URNRS22	0,50	0,15	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
URS Altanera	0,50	0,02	0,00	0,17	0,65	0,17	0,50	0,33	0,33
URS Alteza	0,83	0,50	0,17	0,67	0,42	0,17	0,17	0,50	0,17
URS Brava	0,33	0,17	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33	1,00	0,00
URS Corona	0,33	0,50	0,33	0,17	0,47	0,17	0,00	0,29	0,00
URS Olada	0,00	0,83	0,00	1,00	0,27	0,00	0,33	0,21	0,00
UPFA Ouro	0,17	0,83	0,00	0,33	0,50	0,17	0,17	0,50	0,00
URS Pujante	0,83	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00
URS Realeza	0,67	0,61	0,00	0,17	0,13	0,00	0,17	0,00	0,00
URS Taura	0,50	0,33	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,23	0,00

*Valores iguais a zero indicam ausência de ativação das regras fuzzy correspondentes.

No regime hídrico intermitente, o genótipo URS Olada apresentou valores elevados de VI, indicando maior capacidade de adaptação à alternância hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento. Contudo, os baixos valores subsequentes de DP e EP para esse genótipo sugerem que o estresse hídrico intermitente pode comprometer as etapas reprodutivas, mesmo quando o estabelecimento inicial das plantas é favorecido. Nesse regime, o genótipo URS Taura apresentou maior DP, indicando maior capacidade produtiva sob condições de alternância hídrica.

No regime hídrico inundado, observou-se redução dos índices de VI e EP, evidenciando que o excesso hídrico limita tanto o crescimento inicial quanto a eficiência produtiva da maioria dos genótipos avaliados. Ainda assim, o genótipo URS Brava apresentou valor elevado de DP, sugerindo que o excesso hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento não limita sua produtividade de grãos. Os genótipos URS Altanera e URS Alteza demonstraram maior estabilidade entre os regimes hídricos, especialmente sob os regimes intermitente e inundado. A EP mostrou-se o índice mais restritivo, apresentando valores baixos para os genótipos e regimes hídricos, o que evidencia que a conversão do vigor inicial em rendimento final constitui a principal lacuna produtiva sob condições de estresse hídrico. Genótipos que mantiveram EP diferente de zero, como URS Altanera e URS Alteza, destacam-se por sua maior eficiência fisiológica, sendo potenciais

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

candidatos para cultivo em ambientes alagados e como genitores em programas de melhoramento.

Portanto, os cruzamentos entre UPFA Ouro e URS Alteza podem ser explorados para combinar estabilidade produtiva com maior eficiência na conversão de biomassa em grãos, enquanto cruzamentos entre URS Brava e URS Altanera podem favorecer a recombinação de tolerância ao excesso hídrico com maior adaptabilidade a ambientes de alternância hídrica. A utilização direcionada desses genótipos como genitores permite estruturar populações segregantes com maior potencial de seleção para resiliência produtiva em ambientes sujeitos ao alagamento. A abordagem fuzzy mostrou-se eficiente ao captar respostas graduais e não lineares dos genótipos aos regimes hídricos. Estudos tem aplicado de forma eficiente a lógica fuzzy como ferramenta de apoio à seleção no melhoramento genético de algodão (Cardoso et al., 2021), feijão (Carneiro et al., 2023) e arroz (Maciel et al., 2025). Estudos futuros podem explorar a aplicação da lógica fuzzy em populações segregantes, bem como avaliar a sensibilidade das funções de pertinência e das regras de inferência, visando aumentar a robustez e a reprodutibilidade do método.

4. Considerações Finais

Os regimes de excesso hídrico do solo intermitente e inundado reduzem o desenvolvimento inicial e o desempenho produtivo da aveia branca.

Os genótipos UPFA Ouro, URS Brava, URS Altanera e URS Alteza destacam-se quanto à estabilidade produtiva, sendo promissores para uso como genitores em programas de melhoramento genético voltados a ambientes com elevada variabilidade hídrica.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Parovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22, 711-728.

Arduini, I., Baldanzi, M., Pampana, S. (2019). Reduced growth and nitrogen uptake during waterlogging at tillering permanently affect yield components in late sown oats. **Frontiers in Plant Science**, *10*, 1087.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/02/2026 - **Accepted:** 19/03/2026
Vol: 13.03
DOI: 10.61164/n7sb9f18
Pages: 1-15

Cardoso, D. B. O., Oliveira, L. F., Souza, G. S. D., Garcia, M. F., Medeiros, L. A., Faria, P. N., ... Sousa, L. B. D. (2021). Using fuzzy logic to select coloured-fibre cotton genotypes based on adaptability and yield stability. **Acta Scientiarum. Agronomy**, *43*, e50530.

Carneiro, V. Q., Mencalha, J., Sant'anna, I. D. C., Silva, G. N., Miguel, J. A. D. C., Carneiro, P. C. S., ... Cruz, C. D. (2023). A novel fuzzy approach to identify the phenotypic adaptability of common bean lines. **Acta Scientiarum. Agronomy**, *45*, e59854.

Huang, Y., Lan, Y., Thomson, S. J., Fang, A., Hoffmann, W. C., Lacey, R. E. (2010). Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. **Computers and Electronics in Agriculture**, *71*(2), 107-127.

Maciel, D. D. O., Guimarães, P. H. R., Melo, P. G. S. (2025). Harnessing fuzzy logic for adaptive and stable selection of upland rice lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, *25*(2), e527425213.

Pitann, B., Mühling, K. H. (2024). Oat: an alternative crop under waterlogging stress?. **Frontiers in Plant Science**, *15*, 1386039.

R Core Team. (2025). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org

Rosa, T. D. A., Pedó, T., Martinazzo, E. G., Gehling, V. M., Aisenberg, G. R., Aumonde, T. Z., Villela, F. A. (2015). Alagamento do solo: efeito no crescimento inicial da aveia branca (Avena sativa L.). **Scientia Agraria Paranaensis**, *14*(2), 127-131.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., Cunha, T. J. F. (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 356p.

Tong, C., Hill, C. B., Zhou, G., Zhang, X. Q., Jia, Y., Li, C. (2021). Opportunities for improving waterlogging tolerance in cereal crops physiological traits and genetic mechanisms. **Plants**, *10*(8), 1560.

Widayat, I. W., Arsyad, A. A., Mantau, A. J., Adhitya, Y., Köppen, M. (2024). Fuzzy Methods in Smart Farming: A Systematic Review. **Informatica**, *36*(2), 453-489.

Xu, Z., Ye, L., Shen, Q., Zhang, G. (2024). Advances in the study of waterlogging tolerance in plants. **Journal of Integrative Agriculture**, 23(9), 2877-2897.

Zhang, Y., Chen, X., Geng, S., Zhang, X. (2025). A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. **Frontiers in Plant Science**, *16*, 1545912.