

Belém, PA / Junho, 2025

Tolerância relativa de dois híbridos intraespecíficos de *Brachiaria decumbens* e um acesso de *Brachiaria brizantha* ao alagamento do solo

 Moacyr Bernardino Dias-Filho⁽¹⁾, Monymy Jeane dos Santos Lopes⁽²⁾ e Sanzio Carvalho Lima Barrios⁽³⁾
⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. ⁽²⁾ Pesquisadora, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Resumo — A resposta morfológica e produtiva de dois híbridos intraespecíficos de *Brachiaria decumbens* (HD-1, HD-4) e um acesso de *Brachiaria brizantha* (B147), sob excesso de água no solo, foi avaliada, durante 30 dias, em plantas cultivadas em vasos, sob alagamento, ou em solo bem drenado. Utilizou-se as cultivares comerciais *B. brizantha* 'Xaraés', considerada medianamente suscetível ao alagamento do solo e *Brachiaria* spp. 'Cayman-CIAT 1752', tida como relativamente tolerante ao alagamento do solo, e a cultivar Marandu de *B. brizantha*, reconhecidamente intolerante a esse estresse, como testemunhas. O objetivo foi classificar esses genótipos quanto à tolerância relativa ao alagamento do solo. Sob alagamento, a redução percentual média na taxa de alongamento foliar foi maior nas cultivares Xaraés e Marandu, seguidas por B147, sendo menor na cultivar Cayman-CIAT 1752 e em HD-4. O decréscimo no índice SPAD, em resposta ao alagamento do solo, foi maior em B147 e na cultivar Xaraés e menor em HD-4 e na cultivar Cayman-CIAT 1752. A produção de massa seca da parte aérea, em plantas alagadas, sofreu maior redução em B147 e nas cultivares Marandu e Xaraés, sendo menor em HD-1. A queda de vigor, pelo alagamento, foi maior em B147 e menor em HD-1 e HD-4. Os genótipos HD-1 e HD-4, seguidos pela cultivar Cayman-CIAT 1752, são os mais tolerantes ao alagamento do solo. As cultivares Marandu e Xaraés têm baixa tolerância ao alagamento do solo. O genótipo B147 é muito pouco tolerante ao excesso de água no solo.

Termos para indexação: taxa de alongamento foliar, índice SPAD, raízes adventícias, gramínea forrageira, encharcamento do solo.

Relative tolerance of two *Brachiaria decumbens* intraspecific hybrids and one *Brachiaria brizantha* accession to soil flooding

Abstract — The behavior of two intraspecific hybrids of *Brachiaria decumbens* (HD-1, HD-4) and an accession of *Brachiaria brizantha* (B147), under excess water in the soil, was compared, for 30 days, in plants grown in pots, under flooding, or in well-drained soil. The commercial cultivars *B. brizantha* 'Xaraés', considered moderately susceptible to soil flooding, and *Brachiaria* spp. 'Cayman-CIAT 1752', considered relatively less susceptible

Embrapa Amazônia Oriental
 Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
 66095-903 – Belém, PA
www.embrapa.br/amazonia-oriental
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Bruno Giovany de Maria

Secretária-executiva

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Membros

Adelina do Socorro Serrão Belém,

Alysson Roberto Baizi e Silva,

Andrea Liliane Pereira da Silva,

Anna Christina Monteiro Roffé

Borges, Clívia Danúbia Pinho da

Costa Castro, Delman de Almeida

Gonçalves, Marivaldo Rodrigues

Figueiró e Vitor Trindade Lôbo

Edição executiva e revisão de texto

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Normalização bibliográfica

Andréa Liliane Pereira da Silva

(CRB-2/1166)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Vitor Trindade Lôbo

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

to soil flooding, and the *B. brizantha* cultivar Marandu, known to be intolerant to this stress, as controls. The objective was to classify these genotypes according to their relative tolerance to soil flooding. Under flooding, the average percentage reduction in leaf elongation rate was greatest in the cultivars Xaraés and Marandu, followed by B147, being lowest in the cultivar Cayman-CIAT 1752 and in HD-4. The decrease in the SPAD index, in response to soil flooding, was greater in B147 and the cultivar Xaraés and smaller in HD-4 and the cultivar Cayman-CIAT 1752. The dry mass production of the aerial part, in flooded plants, suffered a greater reduction in B147 and in the cultivars Marandu and Xaraés, being lower in HD-1. The reduction in plant vigor, in response to flooding, was greater in B147 and lower in HD-1 and HD-4. HD-1 and HD-4 genotypes, followed by Cayman-CIAT 1752 are the relatively more tolerant to soil flooding. Marandu and Xaraés cultivars have low relative tolerance to soil flooding. B147 has very low tolerance for excess water in the soil.

Index terms: leaf elongation rate, SPAD index, adventitious roots, forage grass, waterlogging.

Introdução

O excesso de água no solo é um dos principais estresses abióticos que contribui para afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Jia et al., 2021; Langan et al., 2022), induzindo a múltiplos distúrbios morfofisiológicos em gramíneas forrageiras (Dias-Filho, 2013; Di Bella et al., 2022).

Uma séria consequência do alagamento é a rápida redução na disponibilidade e difusão de oxigênio no solo (Armstrong, 1980), pois a respiração das raízes e dos microrganismos esgota o oxigênio remanescente no ambiente radicular, necessário para a respiração aeróbica dos tecidos submergidos. Como resultado, a energia produzida pela respiração das raízes é restringida, levando a uma substancial redução no crescimento da planta afetada por esse estresse (Striker, 2012; Herzog et al., 2016).

Em pastagens, o excesso de água no solo pode ocorrer naturalmente, como resultado da menor permeabilidade intrínseca do solo ou em decorrência de práticas inadequadas de manejo, como o pisoteio do gado em solos desprovidos de cobertura vegetal e o trânsito frequente de máquinas agrícolas ou o uso regular da grade aradora (Dias-Filho; Lopes, 2019; Souza et al., 2019).

O uso de genótipos mais tolerantes ao excesso de água no solo é considerado a forma mais econômica de reduzir perdas decorrentes desse

estresse (Zhang et al., 2015). Plantas tolerantes ao alagamento do solo se adaptam a esse estresse em decorrência de mudanças anatômicas (Cardoso et al., 2013; Mui et al., 2021), metabólicas (Striker et al., 2005) e morfológicas (Colmer; Voesenek, 2009). No entanto, a tolerância ao excesso de água no solo pode variar entre espécies e genótipos, dentro de uma mesma espécie (Caetano; Dias-Filho, 2008; Dias-Filho et al., 2020; Enkhbat et al., 2021).

A avaliação da tolerância de capins ao alagamento do solo torna-se, dessa forma, uma ferramenta importante no processo de seleção de genótipos, objetivando o lançamento e recomendação de cultivares de plantas forrageiras para locais sujeitos ao excesso de água no solo (Dias-Filho; Lopes, 2011). Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar e comparar respostas produtivas, morfológicas e fisiológicas de dois híbridos intraespecíficos de *Brachiaria decumbens* (HD-1, HD-4) e um acesso de *Brachiaria brizantha* (B147), sob excesso de água no solo, visando subsidiar o programa de lançamento de cultivares de forrageiras da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Material e métodos

Material vegetal e modo de cultivo

Mudas de dois híbridos intraespecíficos de *B. decumbens* (HD-1, HD-4) (syn. *Urochloa decumbens*) e de um acesso de *B. brizantha* (B147) (syn. *Urochloa brizantha*) e das cultivares Marandu e Xaraés de *B. brizantha* e *Brachiaria* spp. 'Cayman-CIAT 1752' (Tabela 1), oriundas da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, foram plantadas em vasos plásticos, com capacidade para 5 kg (massa seca) de solo, na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (1°28'S), PA. O substrato utilizado foi uma mistura de solo superficial de área de floresta secundária e cama de aviário curtida, na proporção de 2:1 (volume).

Tabela 1. Identificação dos genótipos avaliados no ensaio.

Espécie	Genótipo ou cultivar	Código
<i>Brachiaria brizantha</i>	Marandu	MAR
<i>Brachiaria brizantha</i>	Xaraés	XAR
<i>Brachiaria</i> spp.	Cayman-CIAT 1752	CAY
<i>Brachiaria decumbens</i>	HD-1	HD-1
<i>Brachiaria decumbens</i>	HD-4	HD-4
<i>Brachiaria brizantha</i>	B-147	B147

Cinquenta dias após o plantio, as plantas (uma planta por vaso) receberam um corte de uniformização, a 8 cm acima do nível do solo, e foram adubadas com 3 g por vaso de uma formulação granulada comercial de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) 10.28.20. Essa adubação foi repetida 21 dias após a primeira adubação. Quinze dias após a última adubação, as plantas foram submetidas a uma nova adubação equivalente a 6 mg dm⁻³ de N. O alagamento foi iniciado 43 dias após o corte de uniformização, inundando-se os vasos a até 3 cm acima do nível do solo, por meio da vedação dos drenos dos vasos. A vedação dos drenos foi obtida mediante a inserção dos vasos do tratamento alagado, em recipientes sem dreno. As plantas não alagadas permaneceram nos vasos com drenagem livre e foram irrigadas diariamente. O alagamento durou 30 dias (Figura 1).

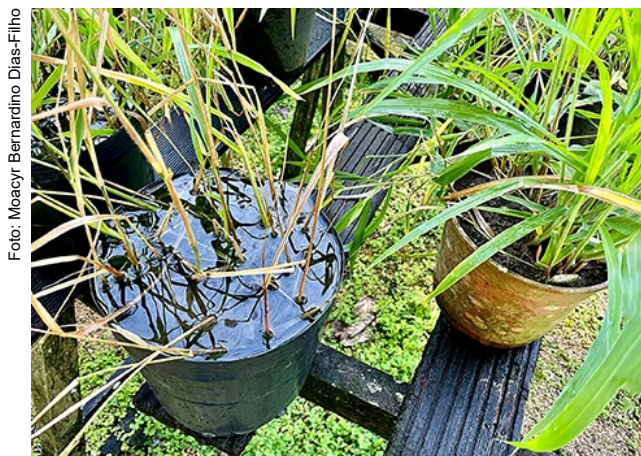


Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 1. Vista parcial do experimento.

Durante todo o período experimental, as plantas foram cultivadas em viveiro de produção de mudas, sob uma tela preta de polipropileno, a qual interceptava, aproximadamente, 20% da radiação solar direta, não havendo controle da umidade e da temperatura do ar e de eventos de chuva.

Taxa de alongamento foliar

Diariamente, entre 8h e 10h da manhã, media-se o comprimento de uma lâmina foliar em expansão (com a lígula ainda não exposta), em um perfilho vegetativo de cada planta. As folhas medidas eram marcadas com um anel plástico. Quando a lígula da folha sendo medida era exposta, uma nova folha, na mesma planta, era marcada e medida. O alongamento diário da folha foi calculado pela diferença entre os comprimentos da folha de dois dias consecutivos. O alongamento foliar foi medido desde o primeiro dia de alagamento do solo, durante 12 dias.

Índice SPAD

O conteúdo de clorofila foi expresso como índice Soil Plant Analysis Development (SPAD), medido com um medidor portátil de clorofila (SPAD - Konica Minolta Sensing, INC. Japão). As medições foram feitas aos 4, 7, 9, 15 e 21 dias após o início do alagamento do solo. Cada valor do índice SPAD foi resultado de uma média de pelo menos três medições, feitas em folhas diferentes e recentemente expandidas em cada planta.

Produção de massa seca da parte aérea, altura da planta e presença de raízes adventícias

A produção de massa seca da parte aérea foi avaliada ao final do ensaio (30 dias após o início do alagamento do solo), cortando-se as plantas rente ao solo. A massa seca foi determinada após secagem em estufa, a 60 °C, por 48 horas.

A altura das plantas foi avaliada aos 29 dias após o início do alagamento do solo, medindo-se as plantas com uma régua milimetrada, da base do solo ao nível do dossel.

A presença de raízes adventícias foi avaliada, subjetivamente, 23 dias após o início do alagamento. Foram atribuídas as seguintes escalas de notas: 1 – ausência; 2 – presença muito baixa, 3 – presença moderada e 4 – presença abundante.

Vigor

O vigor das plantas foi avaliado subjetivamente aos 8 e aos 23 dias, após o início do alagamento do solo, atribuindo-se a seguinte escala de notas: 1 – muito baixo; 2 – baixo; 3 – regular; 4 – bom e 5 – excelente. A avaliação de vigor integrou aspectos agrônômicos de características como proporção de tecido senescente e verde, perfilhamento, desenvolvimento vegetativo e aspecto fitossanitário e nutricional.

Coefficiente de tolerância ao alagamento

O cálculo do coeficiente de tolerância relativa ao alagamento do solo (CTA) foi executado por meio da equação $CTA = (PA / PN) \times 100$, em que *PA* é o valor médio de uma variável nas plantas alagadas e *PN* é o valor médio da mesma variável nas plantas não alagadas. Portanto, o CTA representa a porcentagem com que o desempenho de um determinado genótipo nas plantas alagadas se assemelha ao desempenho desse mesmo genótipo nas plantas não alagadas, para uma dada variável. Assim, é possível inferir que, quanto maior for o valor de CTA, maior será a tolerância do genótipo ao alagamento do solo para aquela variável.

As variáveis usadas para o cálculo do CTA foram o alongamento foliar, o índice SPAD, a produção de massa seca, o vigor e a altura da planta.

Delineamento experimental e análise estatística

Os vasos foram distribuídos em arranjo fatorial, em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Diferenças na taxa de alongamento foliar, índice SPAD, produção de massa seca, altura e vigor foram analisadas por análise de variância (Anova), com níveis de umidade do solo (alagado e não alagado) e genótipos como efeitos principais. Também, analisou-se por Anova a diferença de vigor entre as avaliações feitas aos 8 e aos 23 dias, em plantas sob alagamento do solo.

Os dados referentes à abundância de raízes adventícias, nas plantas alagadas, foram analisados por Anova, com genótipo como efeito principal. Os requisitos de homogeneidade de variâncias foram testados para cada Anova e, quando necessário, os dados sofreram transformação logarítmica. Os dados transformados foram apresentados em sua forma original. Quando apropriado, contrastes ortogonais foram calculados para determinar diferenças entre tratamentos, dentro de um mesmo genótipo. Para abundância de raízes adventícias, foi empregado teste de média (Duncan a 5%) para determinar diferenças entre genótipos.

O software Statistica para Windows, versão 6.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, EUA) foi usado para todos os cálculos estatísticos e confecção dos gráficos.

Resultados e discussão

Alongamento foliar

Foi possível observar interação significativa entre genótipos x tratamentos para alongamento foliar ($F_{1,5} = 18,29$; $P < 0,001$). O alagamento do solo reduziu a taxa média de alongamento foliar de todos os genótipos (Figura 2).

A redução percentual média na taxa de alongamento foliar foi maior nas cultivares Xaraés (76,8%; $F_{1,420} = 155,4$, $P < 0,001$) e Marandu (74,3%; $F_{1,420} = 96,2$, $P < 0,001$), seguida pelos genótipos B147 (68,8%; $F_{1,420} = 192,1$, $P < 0,001$) e HD-1 (62,2%; $F_{1,420} = 24,7$, $P < 0,001$), sendo relativamente menor nos genótipos Cayman-CIAT 1752 (53,5%; $F_{1,420} = 98,7$, $P < 0,001$) e HD-4 (55,3%; $F_{1,420} = 66,2$, $P < 0,001$).

Um comportamento peculiar na taxa de alongamento foliar nas plantas alagadas dos genótipos Cayman-CIAT 1752, HD-1 e HD-4 foi a tendência de aumento desse parâmetro, após

a primeira semana de alagamento do solo (Figuras 3 a 5). Tal resposta sugere uma tendência de adaptação das plantas, com a progressão do período de alagamento do solo. Nos demais genótipos, não foi observado esse comportamento (Figuras 6 a 8).

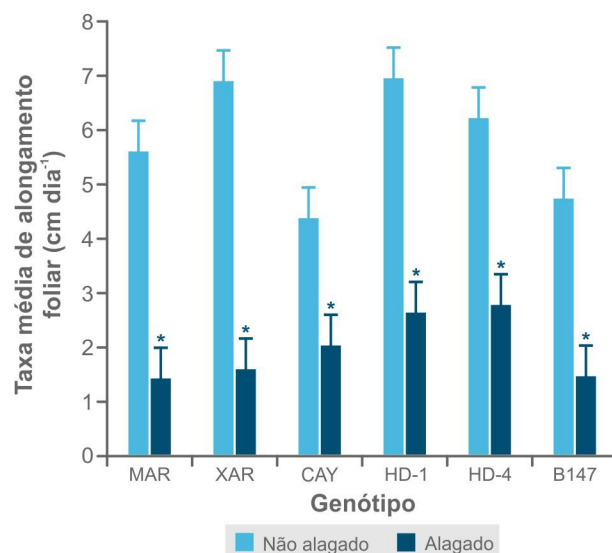


Figura 2. Taxa média de alongamento foliar para genótipos de *Brachiaria* spp., cultivados em solo alagado e não alagado, durante 10 dias contínuos de alagamento do solo. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

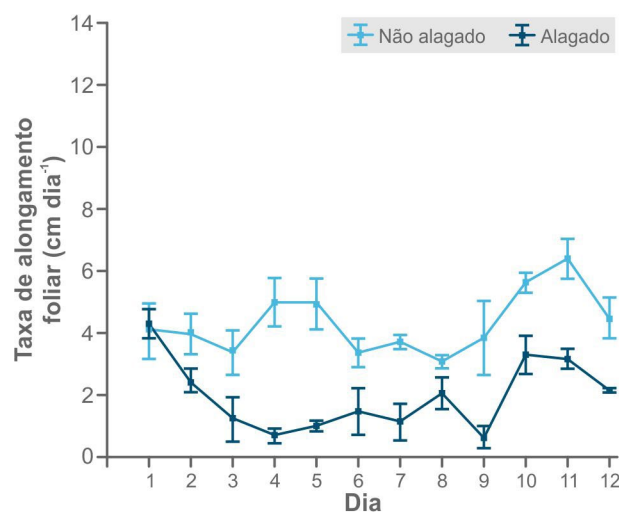


Figura 3. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria* spp. Cayman-CIAT 1752 cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média ± intervalo de confiança de 95% para a média.

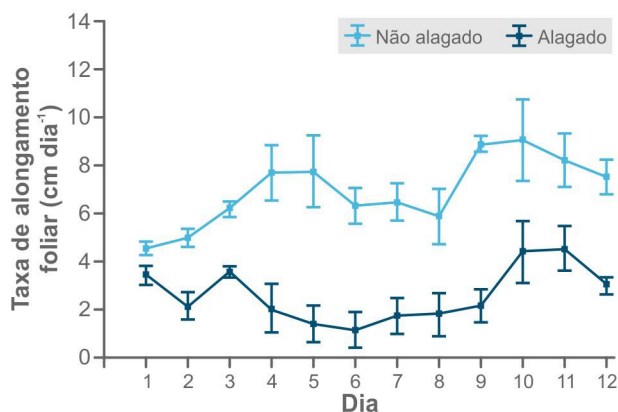


Figura 4. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria decumbens* HD-1 cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

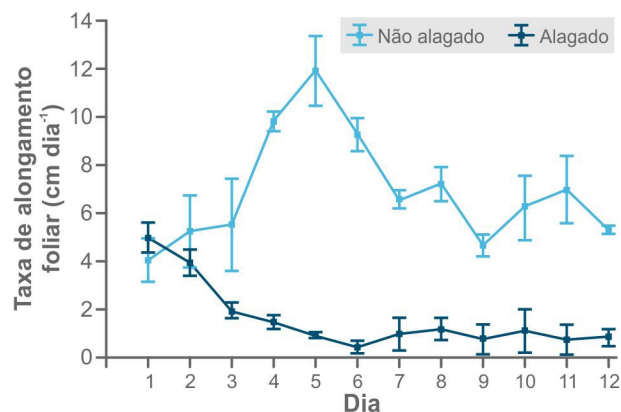


Figura 7. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria brizantha* 'Xaraés' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

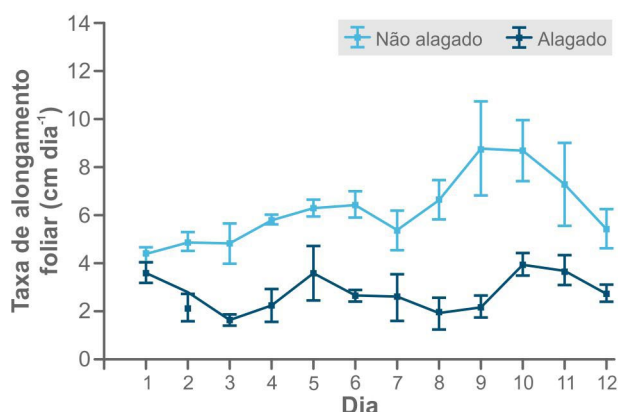


Figura 5. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria decumbens* HD-4 cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

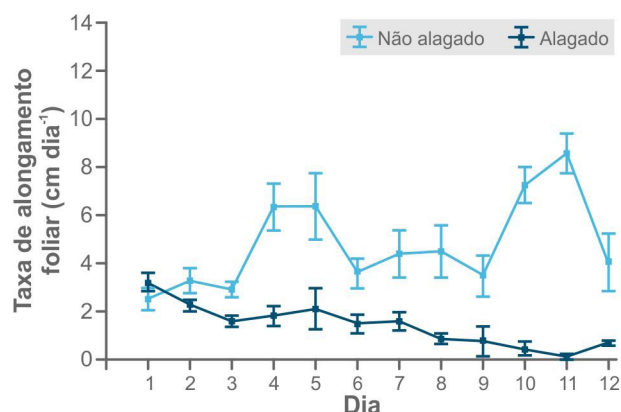


Figura 8. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria brizantha* 'B147' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

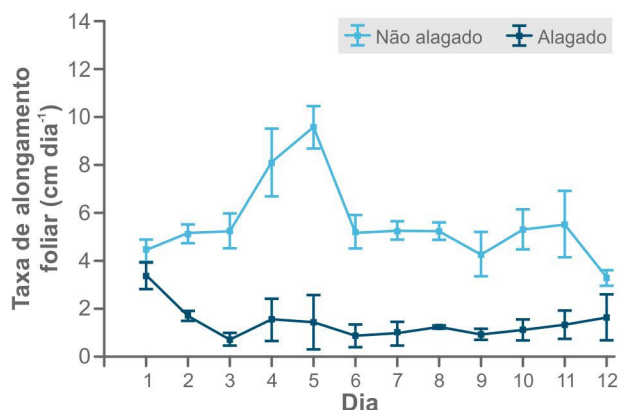


Figura 6. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

O excesso de água no solo pode ocasionar diminuição da absorção de água pela planta (Dias-Filho, 2013), a qual provoca perda da turgescência celular, culminando na diminuição do alongamento foliar, por ser um processo dependente da turgescência (Coussement et al., 2021).

Em gramíneas forrageiras, a taxa diária de alongamento foliar tem sido um parâmetro altamente correlacionado com a tolerância relativa ao excesso de água no solo (Dias-Filho; Lopes, 2011).

Índice SPAD

Contrastes ortogonais da diferença entre níveis de umidade do solo, dentro do mesmo genótipo, indicam que o alagamento do solo diminuiu o índice SPAD em todos os genótipos avaliados (Figura 9).

Essa redução foi maior nos genótipos Xaraés (25,9%; $F_{1,24} = 34,8$, $P < 0,001$) e B147 (25,5%; $F_{1,24} = 28,4$, $P < 0,001$) e menor nos genótipos Cayman-CIAT 1752 (13,9%; $F_{1,24} = 42,3$, $P < 0,001$) e HD-4 (14,5%; $F_{1,24} = 8,1$, $P = 0,009$).

O índice SPAD tem sido usado como uma medida indireta do teor de clorofila e um indicador da tolerância ao excesso de água no solo (Mano; Omori, 2013; Choi et al., 2021; Mui et al., 2021; Zang et al., 2022).

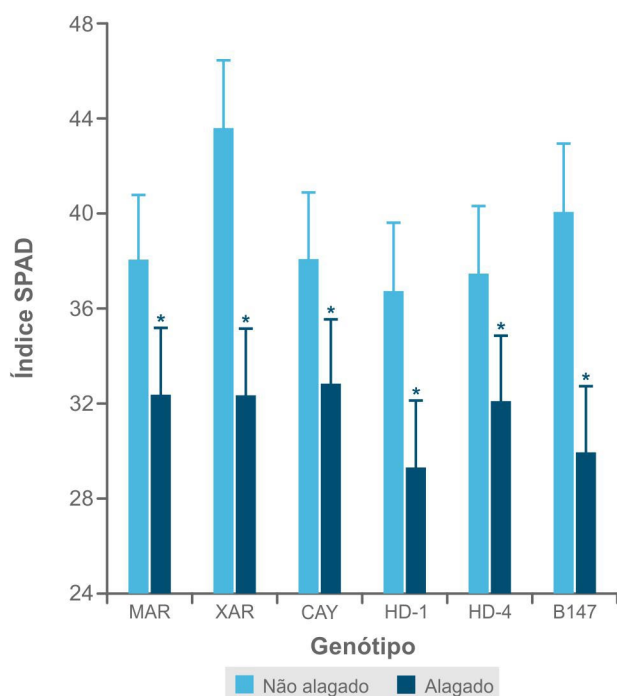


Figura 9. Índice SPAD para genótipos de *Brachiaria* spp. cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média de avaliações feitas aos 2, 5, 7 e 9 dias, após o início do alagamento + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

Produção de massa seca da parte aérea

Houve interação significativa entre genótipos x nível de alagamento para a produção de massa seca ($F_{1,5} = 2,8$; $P = 0,04$). O alagamento do solo reduziu a produção de massa seca da parte aérea em todos os genótipos avaliados (Figura 10).

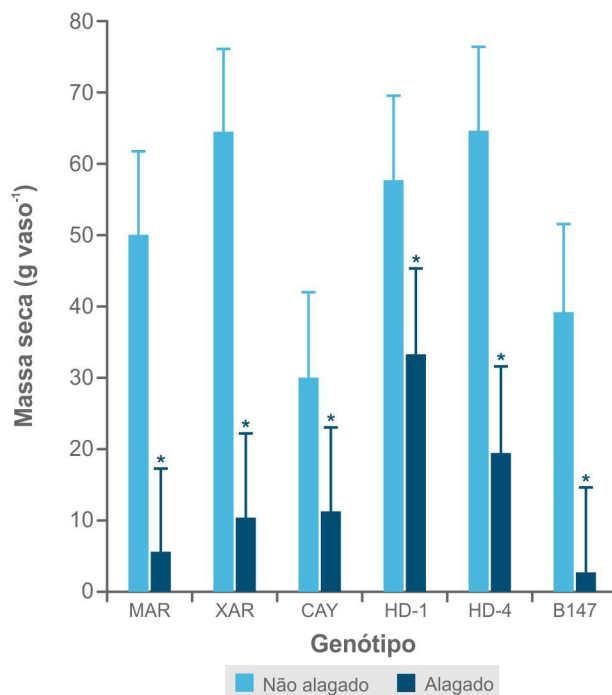


Figura 10. Produção de massa seca da parte aérea para genótipos de *Brachiaria* spp. cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

A redução percentual na produção de massa seca da parte aérea em resposta ao alagamento foi maior nos genótipos B147 (93,6%; $F_{1,24} = 20,7$, $P < 0,001$) e Marandu (89,5%; $F_{1,24} = 30,5$, $P < 0,001$) e menor no genótipo HD-1 (42,2%; $F_{1,24} = 8,9$, $P = 0,006$).

Durante o alagamento do solo, eventos como o fechamento dos estômatos, degradação da clorofila e o amarelecimento e senescência da folha reduzem a captura de luz pelas folhas e a taxa fotossintética, ocasionando redução da produção de biomassa (Dias-Filho, 2013). Assim, o menor percentual de queda na produção de massa seca de um determinado genótipo ao excesso de água no solo pode ser interpretado como uma maior tolerância a esse estresse.

Genótipos mais tolerantes ao excesso de água no solo apresentam adaptações morfoanatômicas que permitem menor queda na produção de massa seca, durante eventos de alagamento do solo (Cardoso et al., 2013). Assim, com base na produção de massa seca, é possível inferir que, no

presente estudo, além do genótipo HD-1, o genótipo Cayman-CIAT 1752, seguido pelo HD-4, mostraram-se relativamente mais tolerantes ao alagamento do solo, pois apresentaram os menores percentuais de redução de produção de massa seca da parte aérea, em plantas alagadas.

Altura da parte aérea

Plantas alagadas tiveram redução na altura. Os genótipos B147 (52,6%; $F_{1,24} = 12,5$, $P = 0,001$) e Xaraés (43,9%; $F_{1,24} = 24$, $P < 0,001$) mostraram maior redução. Não foi possível detectar diferença significativa na altura entre plantas alagadas e não alagadas no genótipo HD-1 ($F_{1,24} = 3,6$, $P = 0,07$) (Figura 11).

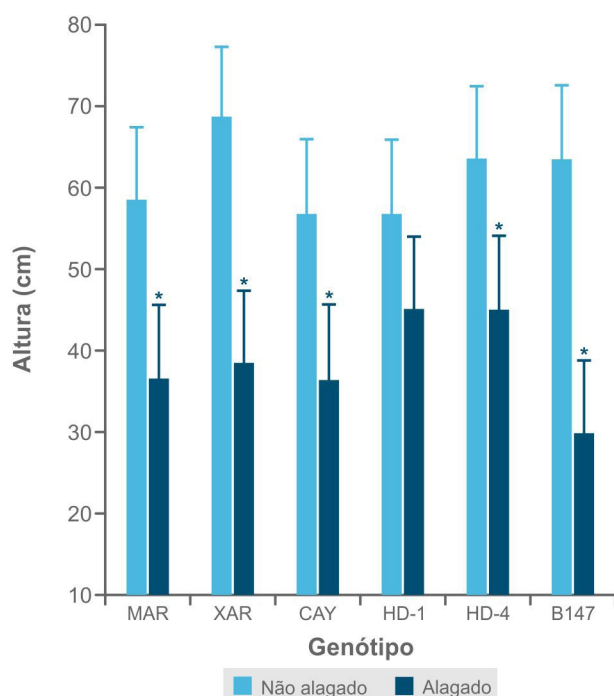


Figura 11. Altura da parte aérea para genótipos de *Brachiaria* spp. cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

Durante o alagamento do solo, a planta promove uma mudança geral no seu uso de energia para o crescimento e a sobrevivência, levando a reduções no crescimento, altura e produtividade (Tian et al., 2021; Langan et al., 2022).

Vigor

Foi possível observar interação significativa entre genótipos x nível de alagamento para o vigor das

plantas ($F_{1,24} = 8,91$; $P < 0,001$). A redução percentual no vigor entre plantas não alagadas e alagadas, medida ao final do período experimental, foi maior no genótipo B147 (73,4%; $F_{1,24} = 103,7$, $P < 0,001$) e nas cultivares Marandu (53,4%; $F_{1,24} = 54,8$, $P < 0,001$) e Xaraés (43,9%; $F_{1,24} = 42,0$, $P < 0,001$). As menores reduções percentuais de vigor foram medidas para os genótipos HD-1 e HD-4 (20%; $F_{1,24} = 7,7$, $P < 0,01$).

Um parâmetro básico empregado para a caracterização do vigor das plantas foi a proporção de tecido verde em relação ao tecido senescente (clorótico ou senescente) da parte aérea. O fundamento foi que quanto maior fosse a proporção de tecido verde em um determinado genótipo sob alagamento do solo, maior seria a sua tolerância a esse estresse e, como consequência, maior seria o vigor. Alógica para essa conclusão seria que a fração de tecido verde seria um indicador da atividade produtiva, enquanto a fração clorótica ou senescente indicaria a sensibilidade do genótipo a estresses ambientais, dentre os quais, o alagamento do solo (Cardoso et al., 2013; Rao, 2014). Portanto, é particularmente importante verificar a evolução do vigor, ao longo do tempo de alagamento do solo. Assim, na Figura 12, é possível constatar a evolução do vigor, observado nas plantas alagadas, entre os 8 e 23 dias de alagamento do solo.

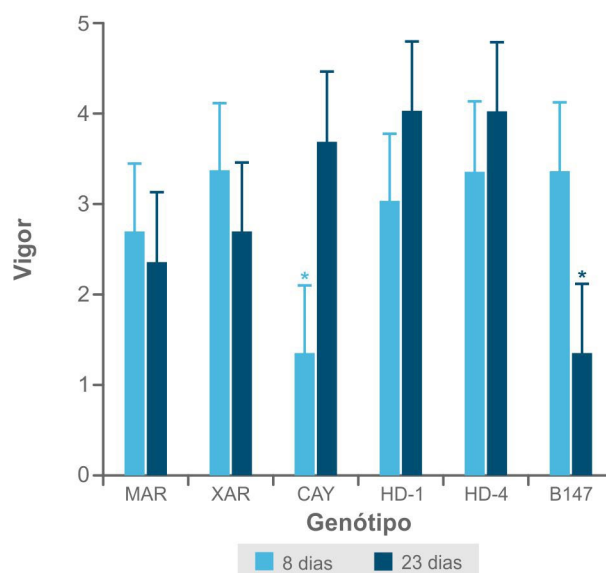


Figura 12. Vigor para genótipos de *Brachiaria* spp. cultivados em solo alagado, aos 8 e aos 23 dias após o início do alagamento do solo. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) no vigor, entre dias de avaliação, para um determinado genótipo. Nos demais genótipos não houve diferença significativa entre dias de avaliação.

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

Houve diminuição significativa do vigor no genótipo B147 (-60%; $F_{1,24} = 14,4$, $P < 0,001$), ou seja, esse genótipo apresentou progressão acentuada nos sinais de sensibilidade ao alagamento do solo entre as avaliações de vigor feitas, aos 8 e 23 dias de alagamento. Tendência semelhante, embora não significativa, foi também verificada para os genótipos Marandu e Xaraés.

No genótipo Cayman-CIAT 1752, esse comportamento foi oposto, ou seja, foi constatado aumento de 175% ($F_{1,24} = 19,6$, $P < 0,001$) no vigor das plantas alagadas ao longo do tempo (Figura 12). Isto é, houve um aumento significativo no vigor das plantas alagadas, após os primeiros 8 dias de alagamento do solo, sugerindo uma progressiva adaptação do Cayman-CIAT 1752 ao alagamento do solo. Da mesma forma, os genótipos HD-1 e HD-4 também apresentaram tendência de aumento de vigor, nas plantas alagadas, após o 8º dia de alagamento (Figura 12).

Raízes adventícias

A presença de raízes adventícias foi observada em todos os genótipos sob alagamento do solo, porém, em aparente maior proporção nos genótipos HD-1, HD-4 e Xaraés e, em menor proporção, no genótipo B147 (Figuras 13 a 15).

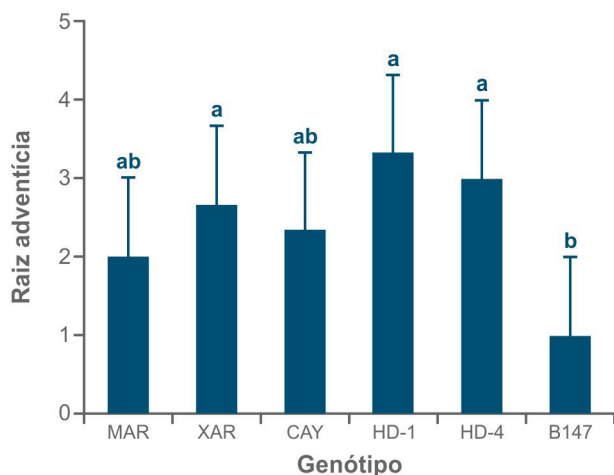


Figura 13. Escore visual da presença de raízes adventícias em genótipos de *Brachiaria* spp. cultivados em solo alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média ($n = 3$). Valores com letras diferentes são significativamente diferentes entre si ($P < 0,05$, teste de Duncan).

MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 14. Detalhe da produção de raízes adventícias em *Brachiaria decumbens* HD-1. Foto tomada 14 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 15. Detalhe da produção de raízes adventícias em *Brachiaria* spp. Cayman-CIAT 1752. Foto tomada 30 dias após o início do alagamento do solo.

A formação de raízes adventícias é uma mudança morfológica apresentada por algumas espécies em resposta ao excesso de água no solo (Pan et al., 2021). Sob alagamento do solo, as raízes adventícias auxiliam ou substituem as

raízes primárias, objetivando melhorar a difusão de gases e a absorção de água e nutrientes pela planta (Armstrong et al., 1994; Steffens; Rasmussen, 2016), por meio de estruturas chamadas aerênquimas.

Genótipos de plantas mais tolerantes ao excesso de água no solo tendem a apresentar um maior número de raízes adventícias (Luan et al., 2018), sendo o benefício das raízes adventícias

aparentemente maior em eventos mais prolongados de alagamento do solo (Zhang et al., 2017).

Tolerância ao alagamento

O coeficiente de tolerância relativa ao alagamento do solo para o arranjo genótipo x variável é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de tolerância relativa ao alagamento do solo (CTA) dos genótipos avaliados. O CTA para cada variável corresponde à média de três valores. A “média” para cada genótipo representa o valor médio das cinco variáveis medidas.

Genótipo ⁽¹⁾	Coeficiente de tolerância ao alagamento do solo						Grupo
	Alongamento	SPAD	Massa seca	Vigor	Altura	Média	
MAR	25,6	85,03	10,50	46	69,9	47,4	2
XAR	23,2	74,00	15,80	53	44,4	42,1	2
CAY	46,4	85,90	47,50	73	64,7	63,5	1
HD-1	37,9	79,60	48,60	80	79,4	65,1	1
HD-4	44,6	85,40	29,90	80	71,1	62,2	1
B147	31,1	74,60	6,97	26	47,4	37,2	3

⁽¹⁾ MAR: Marandu; XAR: Xaraés; CAY: Cayman.

Observa-se que há uma tendência de separação dos genótipos em três grupos de tolerância relativa ao alagamento do solo: Grupo 1 – tolerante (CAY,

HD-1 e HD-4), Grupo 2 – moderadamente tolerante (XAR e MAR) e Grupo 3 – pouco tolerante (B147) (Figuras 16 a 21).



Figura 16. Plantas de *Brachiaria decumbens* HD-1, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.



Figura 17. Plantas de *Brachiaria decumbens* HD-4, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 18. Plantas de *Brachiaria* spp. 'Cayman-CIAT 1752', cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 20. Plantas de *Brachiaria brizantha* 'Xaraés', cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 19. Plantas de *Brachiaria brizantha* 'Marandu', cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 21. Plantas de *Brachiaria brizantha* B147, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 29 dias após o início do alagamento do solo.

Conclusão

Há diferenças em relação à tolerância ao alagamento do solo: os genótipos HD-1 e HD-4, seguidos pela cultivar Cayman-CIAT 1752, são os relativamente mais tolerantes. As cultivares Marandu e Xaraés têm baixa tolerância ao alagamento do solo e o genótipo B147 é muito pouco tolerante a esse estresse.

Agradecimento

À Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras Tropicais (Unipasto), pelo suporte financeiro para a condução deste estudo.

Referências

- ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. **Advances in Botanical Research**, v. 7, p. 225-332, 1980.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.
- CAETANO, L. P. S.; DIAS-FILHO, M. B. Responses of six *Brachiaria* spp. accessions to rootzone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.
- CARDOSO, J. A.; RINCÓN, J.; JIMÉNEZ, J. de la C.; NOGUERA, D.; RAO, I. M. Morpho-anatomical adaptations to waterlogging by germplasm accessions in a tropical forage grass. **AoB Plants**, v. 5, p. plt047, 2013.
- CHOI, J. Y.; CHO, S. W.; CHUN, J. B.; KWON, S. J.; ROY, S. K.; SUNG, S.-H. W.; SAKAGAMI, J.-I. Morpho-physiological response of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) to flooding stress at different growth stages. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 24, p. 41-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00044-7>.
- COLMER, T.; VOESENEK, L. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 665-681, 2009.
- COUSSEMENT, J. R.; VILLERS, S. L. Y.; NELISSEN, H.; INZÉ, D.; STEPPE, K. Turgor-time controls grass leaf elongation rate and duration under drought stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, n. 5, p. 1361-1378, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13989>.
- DI BELLA, C. E.; GRIMOLDI, A. A.; STRIKER, G. G. A quantitative revision of the waterlogging tolerance of perennial forage grasses. **Crop & Pasture Science**, v. 73, p. 1200-1212, 2022.
- DIAS-FILHO, M. B. Características morfoanatômicas e fisiológicas de gramíneas associadas à tolerância a alagamento e encharcamento. In: SOUZA, F. H. D. de; MATTA, F. de P.; FÁVERO, A. P. (ed.). **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. cap. 6, p. 125-150.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. Manejo do solo em pastagens. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: SBCS, 2019. cap. 36, p. 1163-1181.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. Screening for tolerance to waterlogging in forage plants. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., 2011, Bonito, MS. **Breeding forages for climate change adaptation and mitigation-efficient animal production: proceedings**. [Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte], 2011. p. 333-346.
- DIAS-FILHO, M. B.; CRUZ, E. D.; LOPES, M. G. dos S.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. **Tolerância relativa de doze híbridos interespecíficos de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 141). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127443>. Acesso em: 25 set. 2023.
- ENKHBAT, G.; RYAN, M. H.; FOSTER, K. J.; NICHOLS, P. G.; KOTULA, L.; HAMBLIN, A.; INUKAI, Y.; ERSKINE, W. Large variation in waterlogging tolerance and recovery among the three subspecies of *Trifolium subterranean* L. is related to root and shoot responses. **Plant and Soil**, v. 464, p. 467-487, 2021.
- HERZOG, M.; STRIKER, G. G.; COLMER, T. D.; PEDERSEN, O. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat—a review of root and shoot physiology. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, p. 1068-1086, 2016.
- JIA, W.; MA, M.; CHEN, J.; WU, S. Plant Morphological, physiological and anatomical adaption to flooding stress and the underlying molecular mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 3, article 1088, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22031088>.
- LANGAN, P.; BERNÁD, V.; WALSH, J.; HENCHY, J.; KHODAEIAMINJAN, M.; MANGINA, E.; NEGRÃO, S. Phenotyping for waterlogging tolerance in crops: current trends and future prospects. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 15, p. 5149-5169, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erac243>.
- LUAN, H.; GUO, B.; PAN, Y.; LV, C.; SHEN, H.; XU, R. Morpho-anatomical and physiological responses to waterlogging stress in different barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Plant Growth Regulation**, v. 85, n. 3, p. 399-409, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0401-9>.

MANO, Y.; OMORI, F. Flooding tolerance in interspecific introgression lines containing chromosome segments from teosinte (*Zea nicaraguensis*) in maize (*Zea mays* subsp. *mays*). **Annals of Botany**, v. 112, n. 6, p. 1125-1139, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mct160>.

MUI, N. T.; ZHOU, M.; PARSONS, D.; SMITH, R. W. Aerenchyma formation in adventitious roots of tall fescue and cocksfoot under waterlogged conditions. **Agronomy**, v. 11, n. 12, article 2487, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11122487>.

PAN, J.; SHARIF, R.; XU, X.; CHEN, X. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: research progress and prospects. **Frontiers Plant Science**, v. 11, article 627331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>.

RAO, I. M. Advances in improving adaptation of common bean and Brachiaria forage grasses to abiotic stresses in the tropics. In: PESSARAKLI, M. (ed.). **Handbook of Plant and Crop Physiology**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014. p. 847-889.

SOUZA, L. da S.; MAFRA, A. L.; SOUZA, L. D.; SILVA, I. de F.; KLEIN, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: SBCS, 2019. cap. 8, p. 193-249.

STEFFENS, B.; RASMUSSEN, A. The physiology of adventitious roots. **Plant Physiology**, v. 170, n. 2, p. 603-617, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>.

STRIKER, G. G. Flooding stress on plants: anatomical, morphological and physiological responses. In: MWORIA,

J. K. (ed.). **Botany**. Rijeka-Croatia: InTech–Publisher, 2012. p. 3-28.

STRIKER, G. G.; INSAUSTI, P.; GRIMOLDI, A. A.; PLOCHUK, E. L.; VASELLATI, V. Physiological and anatomical basis of differential tolerance to soil flooding of *Lotus corniculatus* L. and *Lotus glaber* Mill. **Plant and Soil**, v. 276, p. 301-311, 2005.

TIAN, L.; ZHANG, Y.; CHEN, P.; ZHANG, F.; LI, J.; YAN, F.; DONG, Y.; FENG, B. How does the waterlogging regime affect crop yield? A global meta-analysis. **Frontiers Plant Science**, v. 12, article 634898, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634898>.

ZENG, R.; CAO, J.; LI, X.; WANG, X.; WANG, Y.; YAO, S.; GAO, Y.; HU, J.; LUO, M.; ZHANG, L.; CHEN, T. Waterlogging tolerance and recovery capability screening in peanut: a comparative analysis of waterlogging effects on physiological traits and yield. **PeerJ**, v. 10, e12741, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.12741>.

ZHANG, Q.; HUBER, H.; BELJAARS, S. J. M.; BIRNBAUM, D.; DE BEST, S.; DE KROON, H.; VISSER, E. J. W. Benefits of flooding-induced aquatic adventitious roots depend on the duration of submergence: linking plant performance to root functioning. **Annals of Botany**, v. 120, n. 1, p. 171-180, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcx049>.

ZHANG, X.; SHABALA, S.; KOUTOULIS, A.; SHABALA, L.; JOHNSON, P.; HAYES, D.; NICHOLS, D. S.; ZHOU, M. Waterlogging tolerance in barley is associated with faster aerenchyma formation in adventitious roots. **Plant and Soil**, v. 394, p. 355-372, 2015.