

Belém, PA / Agosto, 2026

Tolerância relativa de dois novos genótipos de *Brachiaria humidicola* 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 tolerância relativa ao alagamento do solo foi avaliada em dois acessos de *Brachiaria humidicola* (HumG e HumH) e três cultivares comerciais (Comum, Llanero e BRS Tupi), cultivadas em vasos sob condições controladas por 15 dias. Mediram-se taxa de alongamento foliar, índice SPAD, biomassa seca da parte aérea, número de perfilhos e formação de raízes adventícias, calculando-se o coeficiente de tolerância ao alagamento (CTA). O alagamento reduziu o alongamento foliar em até 24% no acesso HumG e 19,8% no HumH, com impactos menores nas cultivares. Não afetou significativamente o índice SPAD, mas diminuiu a biomassa seca em 64% no HumG e 48,5% no HumH, e o perfilhamento em 59,3% no HumG e 20,2% no HumH. Raízes adventícias foram ausentes no HumG, mas presentes no HumH (moderadas). O CTA médio foi maior na cultivar BRS Tupi (119,7), intermediário no acesso HumH (77,6) e nas cultivares Llanero (79,5) e Comum (77,6), e inferior no acesso HumG (62,1). Conclui-se que o acesso HumH possui tolerância relativa moderada ao alagamento do solo, similar à cultivar Comum, enquanto HumG é menos tolerante.

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

Relative waterlogging tolerance of two new *Brachiaria humidicola* genotypes

Abstract — The relative tolerance to soil waterlogging was evaluated in two accessions of *Brachiaria humidicola* (HumG and HumH) and three commercial cultivars (Comum, Llanero, and BRS Tupi), grown in pots under controlled conditions for 15 days. Measurements included leaf elongation rate, SPAD index, aboveground dry mass production, tiller number, and adventitious root formation, with the waterlogging tolerance coefficient (CTA) calculated. Waterlogging reduced leaf elongation by up to 24% in accession HumG and 19.8% in HumH, with lesser impacts on cultivars. It did not significantly affect the SPAD index but decreased dry biomass by 64% in HumG and 48.5% in HumH, and tillering by 59.3% in HumG and 20.2% in HumH. Adventitious roots were absent in HumG but moderately present in HumH. The mean CTA was higher in the BRS Tupi cultivar (119.7), intermediate in the HumH accession (77.6) and in the Llanero (79.5) and Comum (77.6) cultivars, and lower in the HumG accession (62.1). It is concluded that the HumH accession has

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,
Borges, Clivia Danúbia Pinho da
Costa Castro, Delman de Almeida
Gonçalves, José Olenilson Costa
Pinheiro, 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.

moderate relative tolerance to soil flooding, similar to cultivar Comum, while HumG is less tolerant.

Index terms: morphology, genetic resources, taxonomy.

Introdução

O excesso de água no solo constitui um dos principais estresses abióticos limitantes à produtividade de pastagens em regiões tropicais úmidas, onde precipitações intensas e solos com drenagem deficiente frequentemente resultam em condições de encharcamento ou alagamento temporário (Dias-Filho, 2013; Cardoso et al., 2013). Sob essas condições, a difusão de oxigênio no solo é reduzida, levando à hipoxia radicular, que compromete o metabolismo respiratório das raízes, a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal, culminando em reduções na biomassa, senescência foliar acelerada e, em genótipos sensíveis, declínio populacional (Colmer, 2003; Cardoso et al., 2014; Zhang et al., 2025).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) são amplamente empregadas como forrageiras na América Latina tropical, devido à sua adaptabilidade a solos ácidos de baixa fertilidade, elevada produtividade e boa aceitabilidade pelo gado (Miles et al., 2004). Dentre as espécies, *Brachiaria humidicola* destaca-se pela boa tolerância relativa ao alagamento, atribuída a adaptações morfoanatômicas, como a formação de aerênquima em raízes e folhas, que facilita o transporte interno de oxigênio, e o desenvolvimento de raízes adventícias superficiais para melhorar a aeração (Cardoso et al., 2013; Jiménez et al., 2015). Estudos controlados demonstram que cultivares de *B. humidicola*, como 'Llanero' e 'Tully', mantêm maior biomassa aérea e radicular sob excesso hídrico em comparação com espécies sensíveis, como *Brachiaria brizantha* 'Marandu', exibindo menores reduções na taxa de alongamento foliar, no índice SPAD (relacionado ao teor de clorofila) e na produção de massa seca, além de recuperação mais rápida pós-alagamento (Dias-Filho; Lopes, 2019a; Amaral et al., 2024).

Entretanto, observa-se variação intraspecífica significativa na tolerância ao alagamento em *B. humidicola*, influenciada por fatores genéticos e ambientais (Cardoso et al., 2013; Arévalo et al., 2019). Essa variabilidade é manifestada em características como volume radicular, número de perfilhos, eficiência fotossintética e proporção de tecidos aerados, impactando a produtividade em solos encharcados (Jiménez et al., 2017). Tal diversidade é essencial para programas de melhoramento genético, visando o desenvolvimento de cultivares

resilientes a eventos climáticos extremos, que amplificam inundações sazonais (Allan; Soden, 2008; O'Gorman; Schneider, 2009).

O presente estudo objetiva avaliar a tolerância relativa de dois novos genótipos de *Brachiaria humidicola* ao alagamento do solo, por meio de respostas morfológicas, produtivas e fisiológicas em condições controladas. Utilizando metodologias padronizadas, como cultivo em vasos com drenagem controlada e medições de alongamento foliar, produção de biomassa, perfilhamento, índice SPAD e formação de raízes adventícias, busca-se identificar características discriminantes que subsidiem a seleção de materiais para pastagens em áreas úmidas, contribuindo para a sustentabilidade da pecuária tropical.

Materiais e métodos

Material vegetal e modo de cultivo

Sementes de dois acessos de *Brachiaria humidicola* (HumG e HumH) e das cultivares Comum, Llanero e BRS Tupi foram semeadas individualmente em bandejas plásticas preenchidas com areia esterilizada. Após a emergência das plântulas e o desenvolvimento da segunda folha verdadeira, cada uma foi transplantada individualmente para vasos plásticos contendo 3 kg de substrato (em massa seca). O experimento foi conduzido na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (1°28'S), PA.

O substrato consistiu em uma amostra da camada superficial (0–20 cm) de solo proveniente de área de floresta secundária, representativa de solos comuns na região, como Latossolos Amarelos. Durante o período experimental, as plantas foram mantidas em viveiro de produção de mudas, sob tela preta de polipropileno que reduzia em cerca de 20% a incidência de radiação solar direta. Não houve controle artificial de umidade relativa do ar, temperatura ambiente ou chuvas naturais, simulando variações climáticas reais.

Para promover o estabelecimento inicial, as plantas receberam adubação aos 10 e 27 dias após o transplante, com aplicação de 3 g por vaso de fertilizante mineral misto 10-28-20 (N-P₂O₅-K₂O) granulado. O alagamento foi iniciado 40 dias após o transplante: os vasos foram inseridos em recipientes sem drenagem, mantendo uma lâmina d'água de até 2 cm acima da superfície do solo, para simular condições de alagamento em solos mal drenados. As plantas não alagadas permaneceram em vasos com drenagem livre, irrigadas diariamente até a saturação do solo, sem excesso de água (Figura 1). O período de alagamento durou 15 dias.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 1. Vista parcial do experimento.

Taxa de alongamento foliar

Diariamente, entre 8h e 10h da manhã, mediui-se o comprimento de uma lâmina foliar em expansão (com a lígula ainda não exposta) em um perfilho vegetativo de cada planta. As folhas selecionadas foram marcadas com um anel plástico para facilitar a identificação e o acompanhamento. Quando a lígula da folha em medição se expunha, uma nova folha na mesma planta era marcada e passava a ser medida. A taxa de alongamento diário da folha foi calculada pela diferença entre os comprimentos registrados em 2 dias consecutivos. As medições foram realizadas a partir do primeiro dia de alagamento do solo, estendendo-se por 11 dias.

Índice SPAD

O conteúdo relativo de clorofila nas folhas foi estimado por meio do índice Soil Plant Analysis Development (SPAD), obtido com um medidor portátil de clorofila (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Japão). As medições foram realizadas diariamente durante 10 dias consecutivos, a partir do início do alagamento do solo. Cada valor de índice SPAD representou a média de, no mínimo, três leituras, efetuadas em folhas diferentes e recentemente expandidas em cada planta.

Produção de biomassa seca da parte aérea, número de perfilhos e presença de raízes adventícias

A produção de biomassa seca da parte aérea foi avaliada ao final do experimento, 15 dias após o início do alagamento do solo, por meio do corte das plantas rente ao solo. A massa seca foi determinada após secagem das amostras em estufa a 60 °C por 48 horas. No mesmo período,

procedeu-se à contagem do número de perfilhos por planta. A presença de raízes adventícias foi avaliada de forma subjetiva, 15 dias após o início do alagamento, utilizando uma escala de notas: 0 – ausência; 1 – presença escassa; 2 – presença moderada; 3 – presença abundante.

Coefficiente de tolerância ao alagamento

O coeficiente de tolerância ao alagamento do solo (CTA) foi determinado pela fórmula: $CTA = (PA / PN) \times 100$, em que *PA* representa o valor médio de uma variável em plantas submetidas ao alagamento e *PN* corresponde ao valor médio da mesma variável em plantas mantidas em condições não alagadas (Dias-Filho et al., 2025). Esse coeficiente expressa a proporção de similaridade no desempenho de um genótipo sob condições de alagamento em relação ao seu desempenho em condições normais de cultivo (sem alagamento). Dessa forma, valores mais elevados de CTA indicam maior tolerância do genótipo ao alagamento do solo para a variável analisada. As variáveis utilizadas no cálculo do CTA incluíram a taxa de alongamento foliar, a produção de massa seca da parte aérea, o número de perfilhos e o índice SPAD.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial e três repetições. As diferenças na taxa de alongamento foliar, no índice SPAD, no número de perfilhos e na produção de massa seca da parte aérea foram avaliadas por meio de análise de variância (Anova), considerando os níveis de umidade do solo (alagado e não alagado) e os genótipos como efeitos principais.

Os dados relativos à abundância de raízes adventícias em plantas alagadas foram analisados por Anova, com o genótipo como efeito principal. Para cada Anova, verificou-se o pressuposto de homogeneidade de variâncias; quando necessário, os dados foram submetidos à transformação logarítmica (base 10), sendo apresentados em sua forma original após a análise. Quando apropriado, contrastes ortogonais foram utilizados para identificar diferenças entre os níveis de umidade do solo dentro de cada genótipo. Para a abundância de raízes adventícias, empregou-se o teste de Duncan a 5% de probabilidade para comparar as médias entre genótipos.

Todos os cálculos estatísticos e a elaboração dos gráficos foram realizados com o software Statistica para Windows, versão 7 (StatSoft, Inc., Tulsa, EUA).

Resultados e discussão

Alongamento foliar

O alagamento do solo provocou redução na taxa média de alongamento foliar em todos os genótipos avaliados (Figura 2).

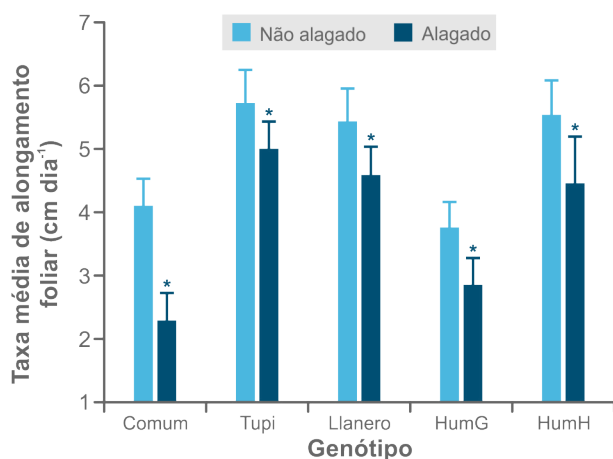


Figura 2. Taxa média de alongamento foliar em genótipos de *Brachiaria humidicola*, cultivados em solo alagado e não alagado, durante 11 dias contínuos de alagamento do solo. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre níveis de umidade do solo, para um determinado genótipo.

A redução percentual média nessa taxa foi menor nas cultivares BRS Tupi (12,6%; $F_{1,265} = 4,29$, $P = 0,04$) e Llanero (15%; $F_{1,265} = 5,55$, $P = 0,01$), seguida pelos acessos HumH (19,8%; $F_{1,265} = 5,49$, $P = 0,02$) e HumG (24%; $F_{1,265} = 8,37$, $P = 0,004$) e maior na cultivar Comum (44%; $F_{1,265} = 33,5$, $P < 0,001$).

No padrão diário de alongamento foliar (Figuras 3 a 7), verificou-se que a cultivar Llanero e o acesso HumH exibiram respostas semelhantes nos dois primeiros dias de alagamento, com taxas de alongamento foliar equivalentes entre plantas alagadas e não alagadas. No acesso HumG, essa similaridade foi observada apenas no primeiro dia. Já nas cultivares Comum e BRS Tupi, a redução no alongamento foliar das plantas alagadas manifestou-se desde o primeiro dia de estresse.

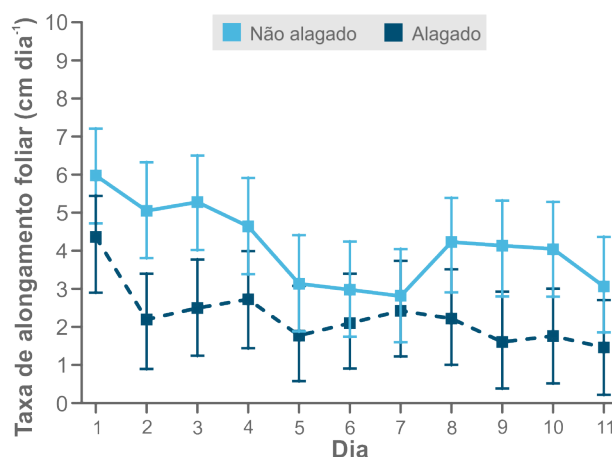


Figura 3. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria humidicola* 'Comum' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

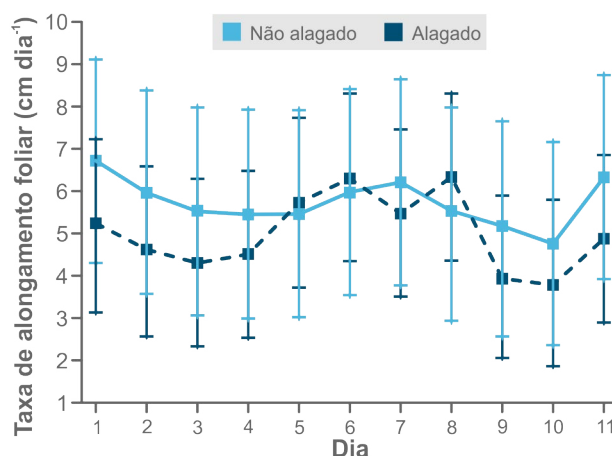


Figura 4. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria humidicola* 'BRS Tupi' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

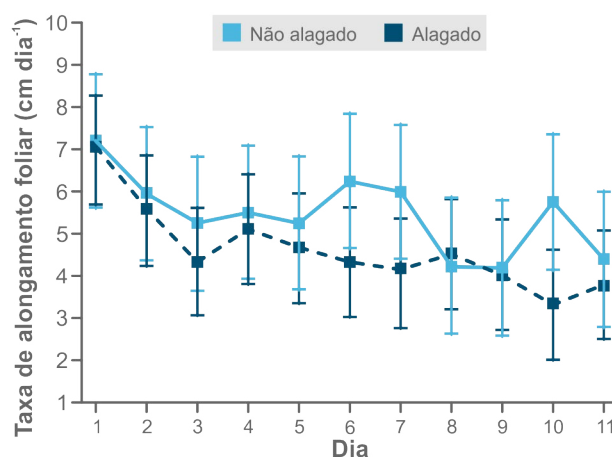


Figura 5. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria humidicola* 'Llanero' cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

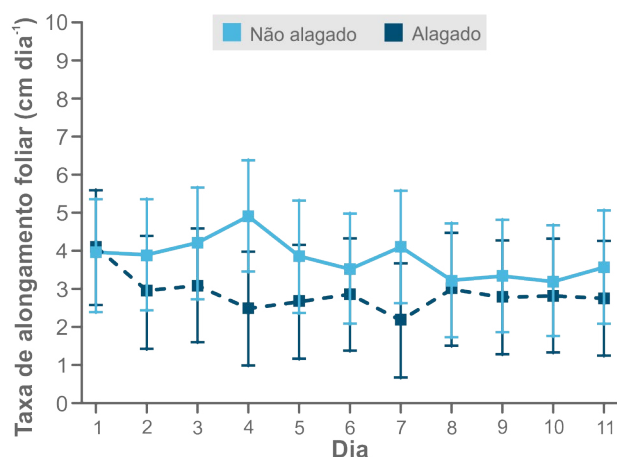


Figura 6. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria humidicola* HumG cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

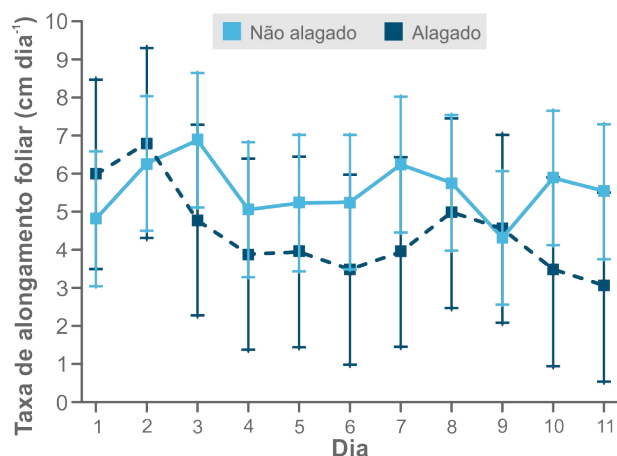


Figura 7. Taxa diária de alongamento foliar de *Brachiaria humidicola* HumH cultivada em solo não alagado e sob alagamento do solo. Os valores são média $\pm$ intervalo de confiança de 95% para a média.

Esses resultados indicam variações na sensibilidade inicial ao alagamento entre genótipos de *B. humidicola*, com as cultivares Llanero e BRS Tupi demonstrando maior resiliência precoce, possivelmente associada a mecanismos adaptativos como a formação de aerênquima foliar, que melhora a oxigenação interna e atenua os efeitos da hipoxia (Cardoso et al., 2013). Em estudos pioneiros no Brasil, a taxa diária de alongamento foliar foi proposta como indicador precoce de tolerância ao alagamento em espécies de *Brachiaria*, permitindo a distinção entre genótipos tolerantes e sensíveis logo nos estágios iniciais do estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000).

Comparações semelhantes em outras gramíneas forrageiras, como *B. brizantha* e *Panicum maximum*, revelam que reduções superiores a 30% nessa taxa estão correlacionadas com perdas significativas de biomassa e vigor, reforçando a utilidade desse parâmetro em programas de seleção (Jiménez et al., 2015; Dias-Filho; Lopes, 2019a, 2019b).

A manutenção inicial do alongamento foliar em genótipos aparentemente mais tolerantes, como observado em 'Llanero' e HumH, pode indicar uma transição mais eficiente para o metabolismo anaeróbico ou maior eficiência na ventilação foliar, ajudando a reduzir os efeitos da inibição do crescimento (Colmer, 2003). Contudo, em genótipos relativamente mais sensíveis como a cultivar Comum, a redução imediata no alongamento sugere maior suscetibilidade à hipoxia radicular, com implicações para a produtividade em solos úmidos, onde eventos de alagamento sazonal são comuns (Amaral et al., 2024). Esses achados contribuem para o refinamento de critérios de seleção em melhoramento genético, priorizando genótipos com respostas precoces adaptativas para áreas de pastagem sujeitas a encharcamentos.

Índice SPAD

O alagamento do solo não exerceu efeito significativo sobre o índice SPAD nos genótipos avaliados. Nas cultivares Comum, BRS Tupi e Llanero, observou-se uma tendência de aumento no índice SPAD em plantas alagadas, enquanto nos acessos HumG e HumH essa tendência foi oposta (Figura 8).

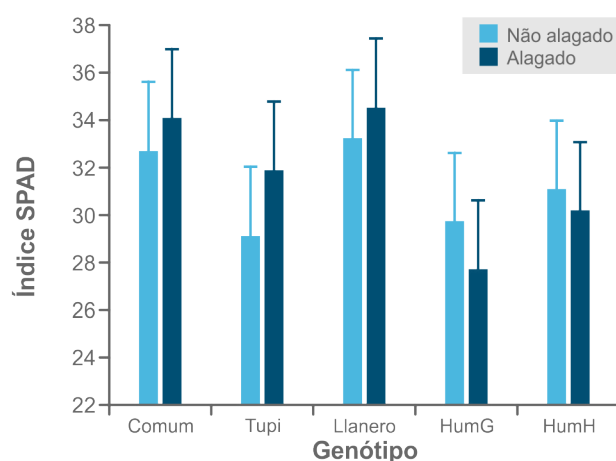


Figura 8. Índice SPAD para genótipos de *Brachiaria humidicola* cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média de avaliações feitas durante os dez primeiros dias de alagamento + intervalo de confiança de 95% para a média.

Esses resultados sugerem que, para a maioria dos genótipos de *B. humidicola*, o estresse por alagamento não compromete de forma acentuada o teor relativo de clorofila, um indicador indireto da capacidade fotossintética e da saúde foliar (Dias-Filho; Lopes, 2019a). A ausência de redução significativa nesse índice pode estar associada a mecanismos adaptativos, como a manutenção da integridade das membranas cloroplastidiais ou a regulação hormonal que mitiga a degradação de clorofila sob hipoxia (Colmer, 2003; Zhang et al., 2025). Em estudo anterior, Dias-Filho e Lopes (2019b) também não detectaram efeito significativo do alagamento sobre o índice SPAD em plantas das cultivares Comum e Llanero de *B. humidicola*, corroborando a resiliência observada aqui. Da mesma forma, Dias-Filho e Carvalho (2000) não registraram diminuição no teor de clorofila em *B. humidicola* 'Comum' sob alagamento, ao contrário do que ocorreu em *B. brizantha* 'Marandu', uma espécie mais sensível.

Por sua vez, reduções no índice SPAD foram reportadas em genótipos relativamente mais sensíveis, como em dez híbridos de *B. decumbens* avaliados por Dias-Filho et al. (2018), em que o alagamento levou a declínio significativo, possivelmente devido a maior suscetibilidade à senescência foliar acelerada. Jiménez et al. (2015) observaram redução expressiva no teor de clorofila em *Brachiaria ruziziensis* sob alagamento, mas não detectaram diferenças em *B. humidicola* 'Comum', reforçando a superioridade dessa espécie em solos encharcados. Comparações em outras gramíneas, como as relatadas por Amaral et al. (2024) em cinco espécies de *Brachiaria*, indicam que genótipos tolerantes, como 'Llanero', mantêm níveis de clorofila estáveis, o que contribui para a preservação da fotossíntese e da produção de biomassa.

Essas variações intraespecíficas destacam a importância do índice SPAD como ferramenta não destrutiva para triagem precoce de tolerância ao alagamento em programas de melhoramento genético (Cardoso et al., 2013; Jiménez et al., 2017). A tendência de aumento observada em cultivares como BRS Tupi e Llanero pode refletir uma resposta compensatória, como maior eficiência na absorção de nutrientes ou formação de aerênquima foliar, que melhora a ventilação e atenua os impactos da hipoxia (Striker, 2017).

Biomassa seca da parte aérea

Verificou-se interação significativa entre genótipos e níveis de alagamento para a produção de biomassa seca da parte aérea ($F_{1,4} = 5,2$; $P = 0,004$). O alagamento do solo reduziu essa variável em

todos os genótipos avaliados, exceto na cultivar BRS Tupi, que exibiu uma tendência de aumento nas plantas alagadas (Figura 9).

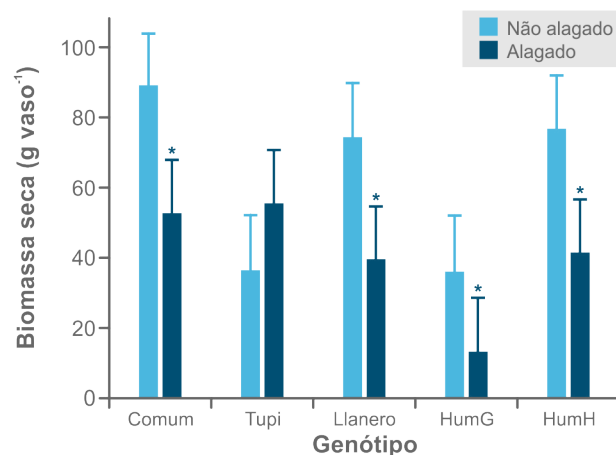


Figura 9. Biomassa seca da parte aérea para genótipos de *Brachiaria humidicola* cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

A redução percentual na biomassa seca da parte aérea em resposta ao alagamento foi maior no acesso HumG (64%; $F_{1,20} = 4,89$, $P = 0,04$), seguida pelos acessos HumH (48,5%; $F_{1,20} = 11,8$, $P = 0,002$), Llanero (47%; $F_{1,20} = 11,3$, $P = 0,003$) e Comum (41%; $F_{1,20} = 12,4$, $P = 0,002$).

A diminuição na produção de biomassa em genótipos de *Brachiaria* representa uma resposta típica ao excesso de água no solo (Dias-Filho, 2002; Caetano; Dias-Filho, 2008; Jiménez et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018, 2019, 2025; Dias-Filho; Lopes, 2019a), frequentemente associada à hipoxia radicular que compromete a respiração aeróbica, a absorção de nutrientes e a eficiência fotossintética. Essa redução pode ocorrer mesmo em espécies consideradas relativamente tolerantes, como *B. humidicola*, devido às limitações na alocação de carboidratos para o crescimento aéreo sob estresse prolongado (Costa, 2004; Beloni et al., 2017). Estudos comparativos em outras gramíneas forrageiras, como os relatados por Amaral et al. (2024), demonstram que genótipos tolerantes, a exemplo de 'Llanero' e 'Tanner', mantêm até 78% da biomassa aérea sob alagamento, atribuindo essa resiliência à formação de aerênquima e raízes adventícias que melhoram a oxigenação interna (Colmer, 2003; Cardoso et al., 2013).

A exceção observada na cultivar BRS Tupi, com tendência a aumento na biomassa, sugere uma adaptação superior, possivelmente ligada a maior eficiência no uso de reservas energéticas ou a respostas hormonais que favorecem o crescimento sob hipoxia, como o aumento na síntese de etileno e auxinas (Zhang et al., 2025). Comparações intra-específicas em *B. humidicola*, como as descritas por Cardoso et al. (2014), indicam que variações na arquitetura radicular e na proporção de tecidos aerados explicam diferenças na manutenção de biomassa, com acessos como CIAT 26570 exibindo reduções menores (cerca de 20–30%) em condições semelhantes.

Número de perfilhos

Observou-se interação significativa entre genótipos e níveis de alagamento para o número de perfilhos ($F_{1,4} = 5,6$; $P = 0,003$). O alagamento do solo exibiu tendência de redução no perfilhamento em todos os genótipos avaliados, exceto na cultivar Tupi, na qual verificou-se uma tendência não significativa de aumento no perfilhamento das plantas alagadas (Figura 10).

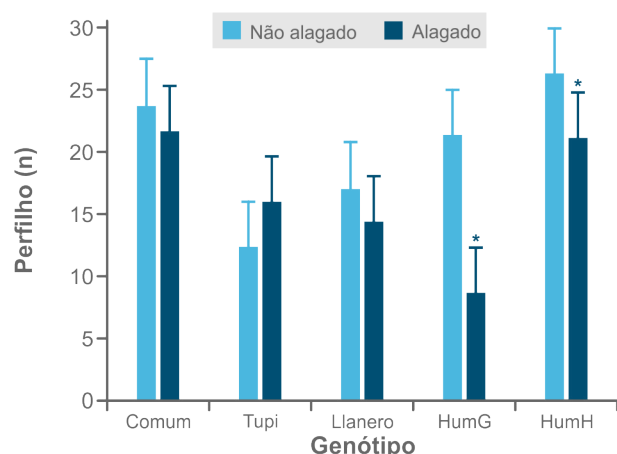


Figura 10. Número de perfilhos para genótipos de *Brachiaria humidicola* cultivados em solo alagado e não alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para um determinado genótipo.

A redução percentual no perfilhamento em resposta ao alagamento do solo foi maior no acesso HumG (59,3%; $F_{1,20} = 25,5$, $P < 0,0001$), seguida pelo acesso HumH (20,2%; $F_{1,20} = 4,5$, $P = 0,04$). Nas cultivares Llanero e Comum, também se observou uma tendência de redução, embora não significativa.

Esses resultados indicam variações intraespecíficas na resposta ao alagamento em *B. humidicola*, com genótipos como BRS Tupi demonstrando maior resiliência, possivelmente devido a adaptações que preservam a alocação de recursos para a formação de novos perfilhos sob hipoxia radicular (Cardoso et al., 2014; Dias-Filho et al., 2018). A redução acentuada no perfilhamento em acessos como HumG e HumH reflete a sensibilidade típica de genótipos relativamente menos tolerantes, em que o excesso de água no solo compromete a respiração radicular e a disponibilidade de energia, levando a uma diminuição no número de perfilhos (Colmer, 2003; Jiménez et al., 2015).

Estudos semelhantes em *B. brizantha* e híbridos de *Brachiaria* reportam reduções de até 50% no número de perfilhos sob alagamento, correlacionadas com menor taxa de alongamento foliar e biomassa aérea (Jiménez et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018). Por exemplo, em experimentos com híbridos de *B. decumbens*, observou-se reduções médias de 35–60% no perfilhamento após 30 dias de alagamento, com genótipos sensíveis exibindo perdas superiores a 70% (Dias-Filho et al., 2018). Da mesma forma, em avaliações de *Brachiaria* spp., Amaral et al. (2024) registraram diminuições de 23–78% no número de perfilhos em cultivares como ‘Marandu’ e ‘Llanero’ sob condições de excesso de água no solo, por 28 dias, destacando que acessos tolerantes mantêm taxas de sobrevivência de perfilhos acima de 70%.

Comparações com estudos em outras gramíneas forrageiras corroboram esses padrões. Por exemplo, em seis acessos de *Brachiaria* spp., o alagamento radicular reduziu o número de perfilhos em genótipos sensíveis como ‘Marandu’, B163 e B166, enquanto acessos mais tolerantes, como ‘Arapoty’, mantiveram níveis semelhantes aos controles, atribuindo essa diferença à maior taxa de crescimento relativo e alocação de biomassa para raízes (Caetano; Dias-Filho, 2008). Da mesma forma, eventos repetidos de alagamento diminuíram o número de perfilhos em espécies sensíveis como *P. maximum* e *B. ruziziensis*, mas tiveram menor impacto em tolerantes como *B. humidicola*, destacando a importância da sobrevivência de perfilhos para a persistência sob condições cíclicas de estresse (Smith et al., 2025).

Em cereais como o arroz, o número de perfilhos emerge como critério essencial para cultivares de alto rendimento e resilientes ao estresse, em que tanto alagamento quanto seca suprimem o perfilhamento, mas com efeitos compensatórios pós-reidratação em genótipos adaptados (Hu et al., 2023; Mmbando, 2025). Estudos em híbridos de capim-napier

(*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) revelaram reduções significativas no número de perfilhos sob alagamento de curto prazo em diferentes estágios de crescimento, com impactos mais severos em variedades sensíveis, semelhantes aos observados em HumG neste trabalho (Thampi et al., 2023).

A ausência de redução significativa em cultivares como Llanero e Comum sugere uma tolerância intermediária, alinhada com observações em acessos de *B. humidicola* que mantêm perfilhamento estável graças à formação de raízes adventícias e aerênquima, facilitando a oxigenação interna (Cardoso et al., 2013; Amaral et al., 2024). Em acessos como CIAT 26570 de *B. humidicola*, por exemplo, o alagamento por 21 dias resultou em reduções de apenas 10–20% no número de perfilhos, atribuídas à maior proporção de tecidos aerados (até 30% do volume radicular) (Cardoso et al., 2013). Por sua vez, a sensibilidade pronunciada em HumG e HumH pode refletir maior dependência de condições aeradas para a iniciação de perfilhos, com implicações para a persistência em solos úmidos (Beloni et al., 2017). Em *P. maximum*, reduções de 40–50% no perfilhamento foram observadas sob alagamento de 5 dias, com cultivares como ‘Tanzânia’ exibindo perdas de até 77% (Dias-Filho; Lopes, 2019a).

Raízes adventícias

A presença de raízes adventícias foi observada em todos os genótipos sob alagamento do solo, exceto no acesso HumG. A maior proporção dessas raízes ocorreu na cultivar Comum, seguida pelas cultivares BRS Tupi e Llanero e pelo acesso HumH (Figura 11).

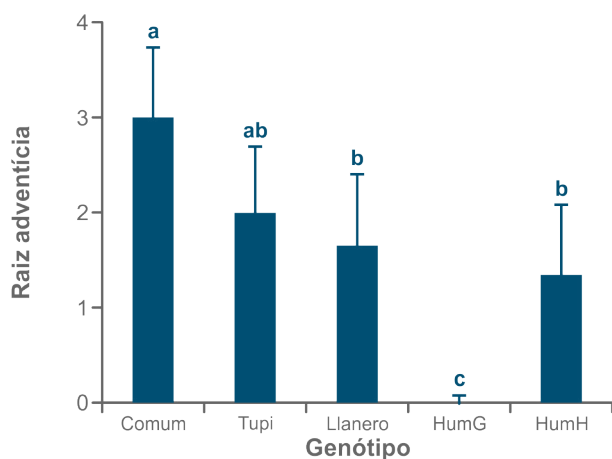


Figura 11. Escore visual da presença de raízes adventícias em genótipos de *Brachiaria humidicola* cultivados em solo alagado. Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (n = 3). Genótipos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan (P < 0,05).

A formação de raízes adventícias representa uma adaptação morfológica comum em espécies vegetais submetidas a excesso de água no solo, permitindo a substituição ou o suporte às raízes primárias para aprimorar a difusão de gases, a absorção de água e nutrientes por meio de aerênquima (Armstrong et al., 1994; Steffens; Rasmussen, 2016; Pan et al., 2021). Genótipos mais tolerantes geralmente exibem maior número dessas raízes, com benefícios acentuados em eventos prolongados de alagamento, em que elas mitigam a hipoxia radicular e promovem a recuperação pós-estresse (Zhang et al., 2017; Luan et al., 2018).

Em gramíneas forrageiras como *B. humidicola*, a formação abundante de raízes adventícias com aerênquima eleva a oxigenação interna (Cardoso et al., 2013; Jiménez et al., 2015). A ausência dessas estruturas no acesso HumG sugere menor tolerância ao alagamento nesse genótipo. Estudos recentes em *Brachiaria* spp. corroboram essa variação: acessos tolerantes, como ‘Llanero’, preservam o volume radicular sob alagamento, contrastando com sensíveis como ‘Marandu’, que sofrem reduções drásticas (Amaral et al., 2024). Em híbridos de Napier (*Pennisetum purpureum* Schum. Guimu-1), o alagamento diminui a altura, o número de folhas e a biomassa, mas genótipos adaptados recuperam via raízes adventícias, embora com impactos persistentes na fotossíntese e clorofila (Wen et al., 2024).

Em *Lolium multiflorum*, o alagamento do solo aumenta raízes adventícias e porosidade radicular, elevando fenóis e carboidratos solúveis para combater espécies reativas de oxigênio e sustentar respiração anaeróbica (Kim et al., 2024). Em *Lolium perenne*, eventos prolongados de alagamento do solo reduzem perfilhamento e biomassa, mas raízes adventícias com aerênquima melhoram a sobrevivência, com recuperação lenta pós-drenagem (Nichols, 2024). Em milho, raízes adventícias induzidas por etileno-auxina e metabolismo de rafinose facilitam raízes laterais finas, melhorando absorção de nutrientes sob hipoxia (Striker et al., 2025). Em milheto, a formação constitutiva de aerênquima e pelos radiculares em raízes adventícias confere tolerância à hipoxia, mantendo crescimento mesmo sob estresse prolongado (Matsuura et al., 2022).

Essas adaptações radiculares destacam a importância de características como aerênquima e raízes adventícias em programas de melhoramento para gramíneas forrageiras, especialmente em regiões tropicais sujeitas a inundações sazonais, promovendo persistência e produtividade (Grimoldi; Di Bella, 2024; Zhang et al., 2025).

Tolerância ao alagamento

O coeficiente de tolerância ao alagamento do solo para o arranjo genótipo x variável é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de tolerância relativa ao alagamento do solo (CTA) dos genótipos avaliados. A média para cada genótipo representa o valor médio das quatro variáveis medidas.

Genótipo	Alongamento foliar	Biomassa da parte aérea	SPAD	Número de perfilhos	Média
Comum	55,9	58,8	104,2	91,6	77,6
BRS Tupi	87,4	152,3	109,6	129,7	119,7
Llanero	84,8	52,9	95,9	84,3	79,5
HumG	75,8	36,1	95,9	40,6	62,1
HumH	80,2	53,5	97,1	79,4	77,6

De modo geral, todos os genótipos exibiram valores de CTA relativamente altos (acima de 50%), confirmando a reconhecida tolerância de *B. humidicola* ao excesso de água no solo, atribuída, entre outros, a adaptações como formação de aerênquima e raízes adventícias (Dias-Filho; Carvalho, 2000; Cardoso et al., 2013; Jiménez et al., 2015). Contudo, destacou-se a tolerância superior das cultivares BRS Tupi (média 119,7), Llanero (79,5) e Comum (77,6), seguidas pelo acesso HumH (77,6), enquanto HumG apresentou desempenho inferior (62,1), sugerindo variação intraespecífica influenciada por traços genéticos e ambientais (Amaral et al., 2024).

Em estudo recente com híbridos intraespecíficos de *B. decumbens*, genótipos com CTA médio de 63% foram classificados como tolerantes (Dias-Filho et al., 2025), valor semelhante ao de HumG no presente trabalho, sugerindo que mesmo genótipos relativamente menos resilientes em *B. humidicola* superam espécies sensíveis como *B. brizantha* ‘Marandu’.

A cultivar BRS Tupi (Figura 12) destacou-se como a mais tolerante (CTA médio = 119,7), seguida pelas cultivares Llanero (79,5) (Figura 13) e Comum (77,6) (Figura 14).



Figura 12. Plantas de *Brachiaria humidicola* ‘BRS Tupi’, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 15 dias após o início do alagamento do solo.



Figura 13. Plantas de *Brachiaria humidicola* ‘Llanero’, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 15 dias após o início do alagamento do solo.

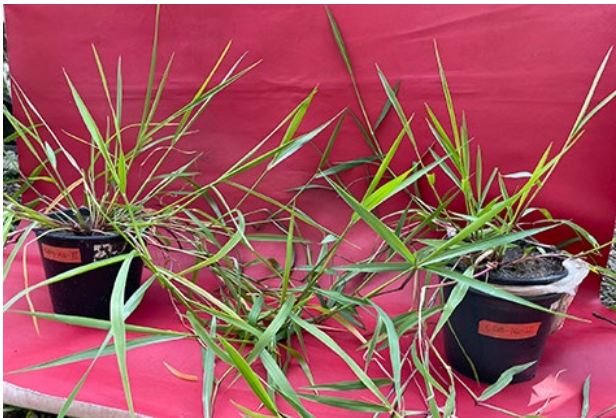


Figura 14. Plantas de *Brachiaria humidicola* ‘Comum’, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 15 dias após o início do alagamento do solo.

O acesso HumH (Figura 15) exibiu comportamento semelhante ao da cultivar Comum (CTA médio = 77,6), mantendo desempenho produtivo e morfológico satisfatório sob hipoxia, o que o posiciona como material promissor para ambientes com drenagem deficiente.



Figura 15. Plantas de *Brachiaria humidicola* HumH, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 15 dias após o início do alagamento do solo.

Em contraste, o acesso HumG (Figura 16) exibiu o menor CTA médio (62,1), resultado de reduções mais acentuadas principalmente na produção de massa seca total e no perfilhamento, caracterizando-o como o relativamente menos tolerante entre os acessos estudados.



Figura 16. Plantas de *Brachiaria humidicola* HumG, cultivadas em solo não alagado (à esquerda) e alagado (à direita). Foto tomada 15 dias após o início do alagamento do solo.

Conclusão

Os genótipos diferem quanto à tolerância ao excesso de água no solo. O acesso HumH mostrou-se relativamente mais tolerante do que o acesso HumG.

Referências

- ALLAN, R. P.; SODEN, B. J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. **Science**, v. 321, n. 5895, p. 1481-1484, 2008. DOI: [10.1126/science.1160787](https://doi.org/10.1126/science.1160787).
- AMARAL, R. M.; SARANGO, L. A. C.; REIS, C. E. R.; LINS, T. O. J. D.; SCHULTZ, E. B.; GUERRERO, D. C. Comparison of the waterlogging tolerance and morphological responses of five *Urochloa* spp. grasses. **Stresses**, v. 4, n. 2, p. 320-329, 2024. DOI: [10.3390/stresses4020020](https://doi.org/10.3390/stresses4020020).
- ARÉVALO, A.; HORROCKS, C. A.; ARANGO, J.; NUÑEZ, J.; VILLEGAS, D.; CARDOSO, J. A. Identification of *Brachiaria humidicola* hybrids with waterlogging tolerance and biological nitrification inhibition capacity. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 2019, Nairobi. **Proceedings** [...]. Nairobi: Kenya Agricultural and Livestock Research Organization, 2019. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/104236>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1994.tb00756.x>.
- BELONI, T.; PEZZOPANE, C. G.; ROVADOSCKI, G. A.; FÁVERO, A. P.; DIAS-FILHO, M. B.; SANTOS, P. M. Morphological and physiological responses and the recovery ability of *Paspalum* accessions to water deficit and waterlogging. **Grass Forage Science**, v. 72, n. 4, p. 840-850, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12281>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500003>.
- CARDOSO, J. A.; RINCÓN, J.; JIMÉNEZ, J. C.; NOGUERA, D.; RAO, I. M. Morpho-anatomical adaptations to waterlogging by germplasm accessions in a tropical forage grass. **AoB PLANTS**, v. 5, plt047, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt047>.
- CARDOSO, J. A.; JIMÉNEZ, J. C.; RAO, I. M. Waterlogging-induced changes in root architecture of germplasm accessions of the tropical forage grass *Brachiaria humidicola*. **AoB PLANTS**, v. 6, plu017, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu017>.
- COLMER, T. D. Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. **Plant, Cell & Environment**, v. 26, n. 1, p. 17-36, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00846.x>.

- COSTA, M. N. X. da. **Desempenho de duas gramíneas forrageiras tropicais tolerantes ao estresse hídrico por alagamento em dois solos glei húmicos**. 2004. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DIAS-FILHO, M. B. Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 439-447, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400003>.
- 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 uso diversos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. cap. 6, p. 125-150.
- DIAS-FILHO, M. B.; FREITAS, M. V. de; LOPES, M. J. dos S.; CRUZ, E. D.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do. **Tolerância relativa de híbridos de *Brachiaria decumbens* ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 127).
- DIAS FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S.; BARRIOS, S. C. L.; VALLE, C. B. do. **Tolerância relativa de dois acessos de *Brachiaria brizantha* ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 24 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 138). Disponível em: <https://bit.ly/2WM0pur>. Acesso em: 27 jul. 2026.
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S.; BARRIOS, S. C. L. **Tolerância relativa de dois híbridos intraespecíficos de *Brachiaria decumbens* e um acesso de *Brachiaria brizantha* ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2025. 12 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 175).
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. **Tolerância relativa de três cultivares de *Panicum maximum* ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019a. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 177).
- DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. dos S. **Respostas de cultivares de *Brachiaria humidicola* e de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' ao alagamento do solo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019b. 27 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 137).
- DIAS-FILHO, M. B.; CARVALHO, C. J. de. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1959-1966, out. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000006>.
- GRIMOLDI, A. A.; DI BELLA, C. E. Forage plant ecophysiology under different stress conditions. **Plants**, v. 13, n. 10, artigo 1302, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13101302>.
- HU, X.; MA, M.; HUANG, Z.; WU, Z.; SU, B.; WEN, Z.; FU, Y.; PAN, J.; LIU, Y.; HU, R.; LI, M.; LIANG, K.; ZHONG, X. Progress and challenges of rice ratooning technology in Guangdong Province, China. **Crop and Environment**, v. 2, n. 1, p. 17-23, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crope.2023.01.001>.
- JIMÉNEZ, J. C.; CARDOSO, J. A.; ARANGO, J.; LEBLANC, O.; WORTHINGTON, M. L.; MILES, J. W.; RAO, I. M. Influence of soil fertility on waterlogging tolerance of two *Brachiaria* grasses. **Agronomía Colombiana**, v. 33, n. 1, p. 20-28, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n1.48412>.
- JIMÉNEZ, J. C.; CARDOSO, J. A.; LEIVA, L. F.; GIL, J.; FORERO, M. G.; WORTHINGTON, M. L.; MILES, J. W.; RAO, I. M. Non-destructive phenotyping to identify *Brachiaria* hybrids tolerant to waterlogging stress under field conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 167, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00167>.
- KIM, M.-J.; KIM, M.-J.; YOON, I.-K.; MIN, C.-W.; LEE, B.-H. Metabolic and morphological changes in italian ryegrass under waterlogging. **Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science**, v. 44, n. 4, p. 220-225, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5333/kqfs.2024.44.4.220>.
- 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>.
- MATSUURA, A.; KATO, Y.; SUZUKI, T.; MURATA, K.; AN, P. Hypoxia tolerance of four millet species is attributable to constitutive aerenchyma formation and root hair development of adventitious roots. **Plant Production Science**, v. 25, n. 2, p. 157-171, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1343943X.2021.2021092>.
- MILES, J. W.; VALLE, C. B. do; RAO, I. M.; EUCLIDES, V. P. B. *Brachiaria* grasses. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (ed.). **Warm-Season (C4) Grasses**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 2004. p. 745-783.
- MMBANDO, G. S. Harnessing artificial intelligence and remote sensing in climate-smart agriculture: the current strategies needed for enhancing global food security. **Cogent Food & Agriculture**, v. 11, n. 1, artigo 2454354, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2454354>.
- NICHOLS, S. **Impact of waterlogging on growth of perennial ryegrass**. Hamilton: AgResearch, 2024. Disponível em: https://niwa.co.nz/sites/default/files/inline-images/AgR_waterlogging_report-May2024.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026.

O'GORMAN, P. A.; SCHNEIDER, T. The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 35, p. 14773-14777, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0907610106>.

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

SMITH, R. W.; NGUYEN, T. M.; BA, N. X.; VAN, N. H.; CORFIELD, J. P.; PARSONS, D. Effect of single and repeated waterlogging events on tropical forage grasses for cut and carry systems. **Tropical Grasslands**, v. 13, n. 1, p. 40-57, 2025. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(13\)40-57](https://doi.org/10.17138/tgft(13)40-57).

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.; YAMAUCHI, T.; MOLLARD, F. P. O. Maize physiology under waterlogging: shoot and root adaptive responses to mitigate low oxygen stress. **Journal of Experimental Botany**, eraf424, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf424>.

STRIKER, G. G. Flooding tolerance of forage legumes. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 8, p. 1851-1872, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw239>.

THAMPI, A. C.; PRAMEELA, P.; ANTONY, S.; SEKHAR, L. Flood Tolerance of Hybrid Napier (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) Cultivars. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 21, p. 394-402, 2023. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i213989>.

WEN, C.; JIANG, Y.; LIU, C.; MO, Q.; LONG, Y. Effects of flooding stress on the growth and photosynthetic characteristics of napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum. Guimu-1). **Research Square**, 2024. [Preprint]. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4712292/v1>.

ZHANG, Y.; CHEN, X.; GENG, S.; ZHANG, X. A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 1545912, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545912>.

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>.