

Respostas de Cultivares de *Brachiaria humidicola* e de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' ao Alagamento do Solo



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
137**

Respostas de Cultivares de *Brachiaria
humidicola* e de *Brachiaria brizantha*
'Marandu' ao Alagamento do Solo

*Moacyr Bernardino Dias-Filho
Monyck Jeane dos Santos Lopes*

Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA
2019

Disponível no endereço eletrônico: <https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>

Embrapa Amazônia Oriental

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
CEP 66095-903, Belém, PA
Fone: (91) 3204-1000
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicação

Presidente

Bruno Giovany de Maria

Secretária-Executiva

Ana Vânia Carvalho

Membros

Alfredo Kingo Oyama Homma, Alysson Roberto Baizi e Silva, Andréa Liliâne Pereira da Silva, Luciana Gatto Brito, Michelliny Pinheiro de Matos Bentes, Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana, Patrícia de Paula Ledoux Ruy de Souza

Supervisão editorial e revisão de texto

Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana

Normalização bibliográfica

Andréa Liliâne Pereira da Silva

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Tratamento de fotografia e editoração eletrônica

Vitor Trindade Lôbo

Foto da capa

Moacyr Bernardino Dias-Filho

1ª edição

Publicação digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Amazônia Oriental

Dias-Filho, Moacyr Bernardino.

Respostas de cultivares de *Brachiaria humidicola* e de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' ao alagamento do solo / Moacyr Bernardino Dias-Filho, Momyck Jeane dos Santos Lopes. – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2019.

27 p. : il. ; 16 cm x 22 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0483; 137).

1. *Brachiaria humidicola*. 2. *Brachiaria brizantha*. 3. Solo inundado. 4. Cultivar. 5. Comportamento de variedade. I. Lopes, Momyck Jeane dos Santos. II. Título. III. Embrapa Amazônia Oriental. IV. Série.

CDD 21 ed 633.2

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	11
Conclusões.....	25
Referências	26

Respostas de Cultivares de *Brachiaria humidicola* e de *Brachiaria brizantha* 'Marandu' ao Alagamento do Solo

Moacyr Bernardino Dias-Filho¹

Monyck Jeane dos Santos Lopes²

Resumo – Objetivou-se com esse estudo comparar as respostas das cultivares Comum e Llanero de *Brachiaria humidicola* ao excesso de água no solo com a cultivar Marandu de *Brachiaria brizantha*. Para isso, as plantas foram cultivadas em vaso, sob alagamento, durante 10 dias contínuos ou em solo com drenagem livre. O decréscimo na taxa de alongamento foliar, em plantas cultivadas em solo alagado, foi maior na cultivar Marandu, intermediário na cultivar Llanero e menor na cultivar Comum. Ambas as cultivares de *B. humidicola* não tiveram o índice SPAD afetado pelo alagamento do solo, enquanto plantas da cultivar Marandu apresentaram redução significativa. A produção de massa seca de folhas e raízes foi mais reduzida pelo alagamento do solo na cultivar Marandu e menos na cultivar Llanero. A produção de massa seca total seguiu o mesmo padrão de resposta da produção de folhas e raízes. O percentual de alocação de carbono para as raízes tendeu a ser menor em plantas alagadas de todas as cultivares, sendo essa redução maior na cultivar Marandu. As cultivares de *B. humidicola* avaliadas diferem quanto à tolerância relativa ao alagamento do solo. A cultivar Llanero de *B. humidicola* foi relativamente mais tolerante ao alagamento do solo do que a cultivar Comum dessa espécie. Ambas as cultivares de *B. humidicola* são mais tolerantes ao alagamento do solo do que a cultivar Marandu de *B. brizantha*, a qual é altamente suscetível a esse estresse.

Termos para indexação: taxa de alongamento foliar, índice SPAD, gramínea forrageira, alocação de biomassa.

¹ Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ecofisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

² Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, bolsista PCI do Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, PA

Responses of *Brachiaria humidicola* Cultivars and *Brachiaria brizantha* 'Marandu' to Soil Flooding

Abstract – The responses of two cultivars of *Brachiaria humidicola* (Comum and Llanero) to root zone flooding were compared to the cultivar Marandu of *Brachiaria brizantha*, during ten continuous days, in plants grown in pots, under flooding or in well-drained conditions. The decrease in leaf elongation rate in flooded plants was higher in Marandu, intermediate in Llanero and lower in cultivar Common. The SPAD index of both cultivars of *B. humidicola* was not affected by soil flooding, while Marandu showed a significant reduction of this parameter in flooded plants. Leaf and root dry mass production was more reduced by soil flooding in the Marandu cultivar and less in Llanero. Total dry mass production followed the same pattern of leaf and root dry mass response. The average percentage of carbon allocated to the roots tended to be lower in flooded plants of all cultivars, and in the Marandu cultivar this reduction was maximum. The cultivars of *B. humidicola* evaluated differ in their relative tolerance to soil flooding. The cultivar Llanero of *B. humidicola* was relatively more tolerant to soil flooding than the cultivar Comum of this species. Both cultivars of *B. humidicola* are more tolerant to soil flooding than the cultivar Marandu of *B. brizantha*, which is highly susceptible to this stress..

Index terms: leaf elongation rate, SPAD index, forage grass, biomass allocation.

Introdução

Nos últimos anos, tem crescido o interesse por gramíneas forrageiras que sejam mais tolerantes ao excesso temporário de água no solo (Dias-Filho, 2013). Um motivo importante desse crescente interesse foi a comprovação, no início dos anos 2000, que a síndrome da morte do capim-braquiarião, uma causa importante da degradação de pastagens, está diretamente relacionada à baixa tolerância de alguns capins ao excesso de água no solo (Teixeira Neto et al., 2000; Dias-Filho, 2006; Pedreira et al., 2019).

Outro motivo desse interesse é que muitas áreas de pastagens estão situadas em terras naturalmente deficientes na drenagem do solo, nem sempre apropriadas ao cultivo de espécies adaptadas a terras altas.

Ademais, práticas não apropriadas de manejo da pastagem, como o pisoteio excessivo do gado em solos com pouca cobertura vegetal, o trânsito frequente de máquinas e veículos e o uso seguido de grade aradora, podem também diminuir a drenagem natural do solo da pastagem (Dias-Filho; Lopes, 2019).

O excesso de água no solo tem efeito marcante na capacidade competitiva e na sobrevivência de gramíneas forrageiras, limitando as taxas de respiração aeróbica e os níveis de energia celular, diminuindo o crescimento e alterando o padrão de desenvolvimento da planta (Dias-Filho, 2013; Loreti et al., 2016).

Existe grande variabilidade na tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao alagamento do solo (Dias-Filho, 2013). A variabilidade relaciona-se à plasticidade dessas plantas em ajustar suas respostas fisiológicas a esse estresse. A partir da eficiência desse ajuste, a planta construirá uma aclimação metabólica, morfológica e anatômica objetivando a manutenção de processos vitais para garantir o seu desenvolvimento, ou, pelo menos, a sua sobrevivência, sob anoxia ou hipoxia do solo (Insausti et al., 2001; Mollard et al., 2008; Sairam et al., 2008; Colmer; Voesenek, 2009; Yin et al., 2009; Voesenek; Bailey-Serres, 2013; Loreti et al., 2016).

Em um dos primeiros trabalhos científicos publicados sobre a tolerância relativa de espécies do gênero *Brachiaria* ao alagamento do solo, determinou-se a baixa tolerância de *Brachiaria brizantha* e a alta tolerância de *Brachiaria humidicola* a esse estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000). Estudos posteriores têm confirmado essa classificação (e.g., Mass Junior et al., 2016).

Mesmo dentro da mesma espécie de gramíneas forrageiras, é possível encontrar grande variabilidade no grau de tolerância relativa ao alagamento do solo (Dias-Filho, 2013), conforme já observado em genótipos de *B. brizantha* (Dias-Filho, 2002; Caetano; Dias-Filho, 2008) e de *Brachiaria decumbens* (Dias-Filho et al., 2018).

Assim, objetivou-se no presente estudo comparar a tolerância de duas cultivares de *B. humidicola*, uma espécie de capim considerada relativamente mais tolerante ao alagamento do solo, com a cultivar Marandu de *B. brizantha*, utilizada como testemunha, por ser reconhecidamente suscetível a esse estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000). Adicionalmente, objetivou-se também validar os resultados de um estudo preliminar, semelhante ao presente estudo, conduzido com essas mesmas cultivares (Lima et al., 2010a, 2010b).

Material e Métodos

Material vegetal e modo de cultivo

Sementes de *B. humidicola* cultivar Comum e cultivar Llanero e de *B. brizantha* cultivar Marandu, foram semeadas em bandejas plásticas contendo areia. A semeadura de *B. brizantha* foi feita 6 dias após a semeadura de *B. humidicola*, em decorrência da maior velocidade de crescimento de *B. brizantha*. Nove dias após a emergência de *B. humidicola* e 5 dias após a de *B. brizantha*, as plântulas foram transplantadas individualmente para vasos plásticos contendo 5 kg (massa seca) de substrato, na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (1°28'S), PA. O substrato usado foi amostra da camada superficial de solo de área de floresta secundária.

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 de umidade, temperatura e eventos de chuva.

Aos 10 e 27 dias após o plantio, as plantas foram adubadas com 3 g por vaso de uma formulação granulada comercial de NPK 10.28.20. O alagamento do solo foi iniciado 35 dias após o plantio, inundando-se os vasos a até 5 cm acima do nível do solo, por meio da colocação dos vasos em

recipiente sem dreno. As plantas não alagadas permaneceram nos vasos com drenagem livre, sendo irrigadas diariamente, até a saturação do solo (Figura 1). O alagamento do solo durou 10 dias.



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 1. Vista parcial do experimento.

Medições

Alongamento foliar

O comprimento de uma lâmina foliar em expansão (com a lígula ainda não exposta), em um perfilho vegetativo de cada planta, foi medido diariamente, aproximadamente no mesmo horário. 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 2 dias consecutivos. As medições foram feitas durante os primeiros 7 dias de alagamento do solo.

Índice SPAD

O conteúdo de clorofila foi expresso como índice SPAD, medido com um medidor portátil de clorofila (SPAD - Konica Minolta Sensing, INC. Japão). A medição foi feita 10 dias após o início do alagamento do solo. Cada valor do índice SPAD foi resultado de uma média de pelo menos quatro medições, feitas em folhas diferentes, em cada planta. As folhas usadas para as medições do índice SPAD eram folhas em expansão ou recentemente expandidas.

Produção e alocação de biomassa e número de perfilhos

Ao final do ensaio, 10 dias após o início do alagamento do solo, foi determinado o número de perfilhos por planta. As plantas foram colhidas e separadas em folhas, colmos (incluindo a bainha) e raízes.

As raízes foram lavadas com jato de água fraco para retirada do solo. Todo o material vegetal foi colocado, individualmente, em sacos de papel e levado para secar em estufa, com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 48 horas. Após a secagem, o material foi pesado para a determinação da massa seca das folhas, dos colmos, das raízes e da massa seca total de cada planta. A partir desses dados, foram calculadas as razões de massa foliar (RMF), do colmo (RMC) e radicular (RMR) pela divisão da massa seca de cada órgão pela massa seca total da planta. Todos os parâmetros de crescimento foram calculados de acordo com Hunt (1990).

Delineamento experimental e análise estatística

Os vasos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de três cultivares de gramíneas e dois níveis de água no solo, com cinco repetições. Diferenças em todas as variáveis foram testadas por análise de variância (Anova), com tratamentos (alagado e não alagado) e cultivares (Comum, LInero e Marandu) como fatores principais. Quando apropriado, foram realizadas análises de contrastes de médias para acessar diferenças entre os tratamentos, dentro de cada cultivar, ou teste de média, para determinar diferença entre cultivares. Para RMF e RMR foi empregado teste de média (Tukey a 5%) para determinar diferenças entre acessos.

Antes de cada Anova, os dados foram testados para homogeneidade de variância e, quando necessário, transformados. Os dados transformados foram retransformados para apresentação.

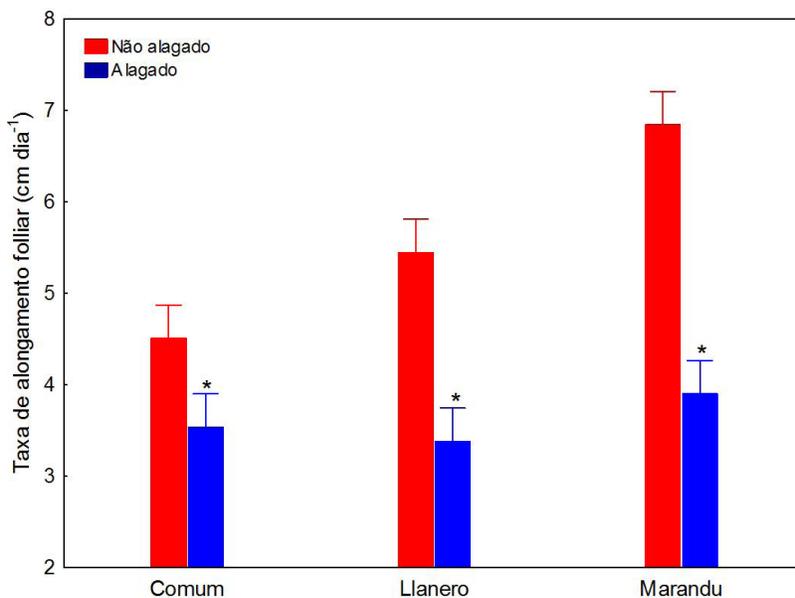
As similaridades (e dissimilaridades) entre as cultivares e a tolerância relativa média dessas cultivares para as variáveis medidas foram representadas graficamente, por meio da técnica multivariada de gráfico de raios. Individualmente, para cada cultivar, as diferenças relativas, entre plantas não alagadas e alagadas, para as variáveis de resposta massa seca total, produção de folhas, produção de colmos, produção de raízes, razão de massa de raiz, taxa de alongamento foliar, perfilhamento e índice SPAD, foram representadas por raios, iniciando na posição de "12 horas" e movendo-se no sentido horário. O comprimento de cada raio correspondeu a quatro desvios padrões do valor da variável (calculado para as três cultivares). Os pontos observados para cada valor foram conectados entre raios consecutivos por uma linha.

O software Statistica para Windows, versão 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, EUA), foi usado para todos os cálculos estatísticos e confecção dos gráficos.

Resultados e Discussão

Alongamento foliar

Houve interação significativa entre cultivares e tratamentos para o alongamento foliar ($F_{1,2} = 14,3$; $P < 0,001$). A taxa média de alongamento foliar foi reduzida pelo alagamento do solo, nas três cultivares. A cultivar Comum e a Llanero apresentaram reduções percentuais, na taxa média de alongamento foliar, inferiores à cultivar Marandu de *B. brizantha*. Assim, essa redução média foi maior na cultivar Marandu (43%, $F_{1,204} = 127$; $P < 0,001$), intermediária na cultivar Llanero (37,9%, $F_{1,204} = 62,6$; $P < 0,001$) e menor na Comum (21,5%, $F_{1,204} = 13,8$; $P < 0,001$) (Figura 2).



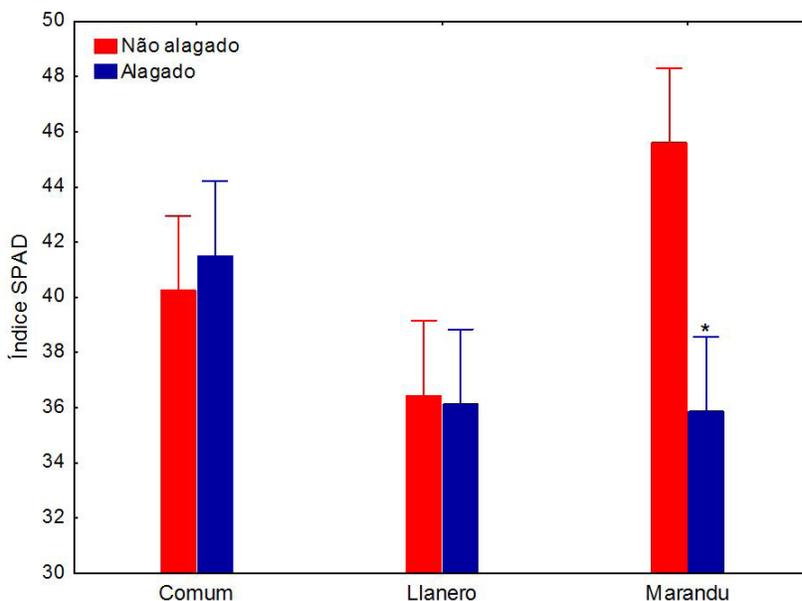
Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 2. Taxa de alongamento foliar das cultivares Comum e Llanero de *B. humidicola* e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

Por ser um parâmetro muito sensível ao excesso de água no solo, o alongamento foliar de gramíneas forrageiras é proposto como uma forma de detecção prematura à suscetibilidade a esse estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000). Essa alta sensibilidade tem sido reportada em diversos estudos, particularmente no gênero *Brachiaria* (Dias-Filho, 2002; Mattos et al., 2005; Caetano; Dias-Filho, 2008; Beloni et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018).

Índice SPAD

Contrastes ortogonais da diferença entre tratamentos para a mesma cultivar indicam que o alagamento do solo não alterou o índice SPAD nas cultivares Comum ($F_{1,24} = 0,46$; $P = 0,5$) e Llanero ($F_{1,24} = 0,03$; $P = 0,9$). Entretanto, na cultivar Marandu, houve queda significativa no índice SPAD nas plantas alagadas (21%, $F_{1,12} = 27,4$; $P < 0,0001$) (Figura 3).



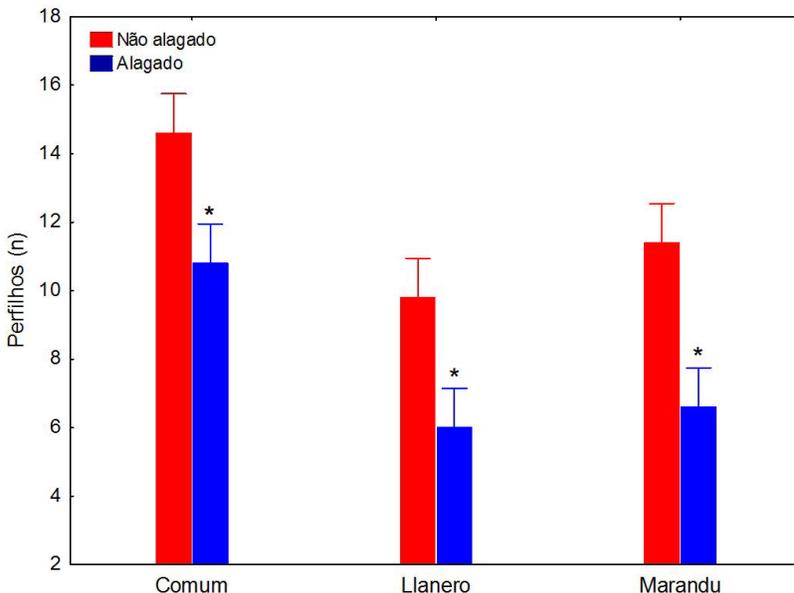
Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 3. Índice SPAD (teor de clorofila) de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

Dias-Filho et al. (2018) observaram redução do índice SPAD ao avaliar o comportamento de dez híbridos de *B. decumbens* sob alagamento do solo. Jiménez et al. (2015) reportam redução significativa do teor de clorofila em *Brachiaria ruziziensis*, sob alagamento do solo, mas não conseguiram detectar diferença para *B. humidicola* 'Comum'. Da mesma forma, Dias-Filho e Carvalho (2000) não encontraram diminuição no teor de clorofila de *B. humidicola* 'Comum' sob alagamento do solo, mas sim em *B. brizantha* 'Marandu'. *B. ruziziensis* e *B. brizantha* 'Marandu' são consideradas pouco tolerante ao excesso de água no solo (Dias-Filho; Carvalho, 2000; Caetano; Dias-Filho, 2008), enquanto *B. humidicola* 'Comum' é tida como relativamente mais tolerante a esse estresse (Dias-Filho; Carvalho, 2000).

Perfilhamento

O perfilhamento de todas as cultivares foi significativamente reduzido pelo alagamento do solo. Essa redução foi menor na cultivar Comum (26%, $F_{1,24} = 23,3$; $P < 0,001$), intermediária na Llanero (38,8%, $F_{1,14} = 23,3$; $P < 0,001$) e maior na cultivar Marandu (42,1%, $F_{1,12} = 37,2$; $P < 0,001$) (Figura 4).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

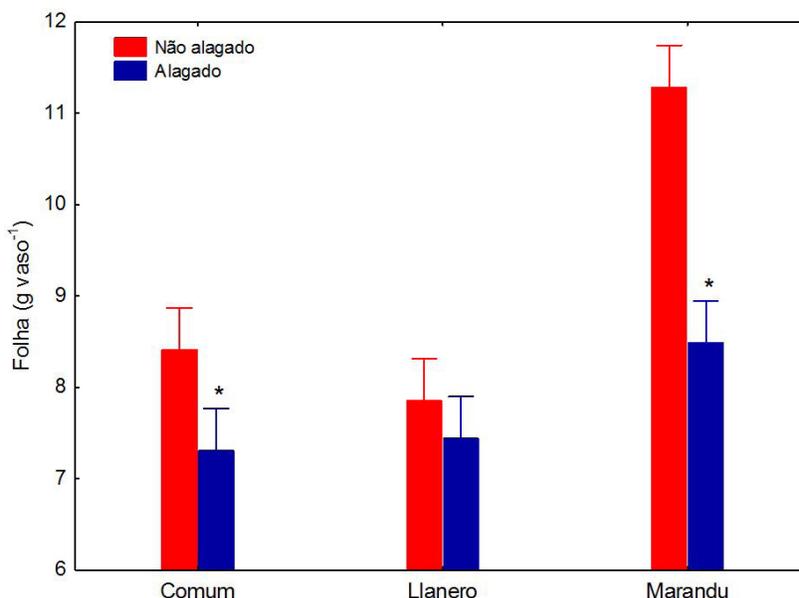
Figura 4. Número de perfilhos de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

O perfilhamento é um atributo importante para a produtividade e persistência de gramíneas forrageiras. Da mesma forma que no presente estudo, Beloni et al. (2017) também reportaram redução significativa no perfilhamento de plantas da cultivar Marandu sob alagamento do solo. Igualmente, Caetano e Dias-Filho (2008) também encontraram diminuição significativa no perfilhamento da cultivar Marandu sob alagamento do solo e menor queda desse parâmetro em outros acessos de *B. brizantha*, relativamente mais tolerantes a esse estresse.

Produção e alocação de biomassa

Folhas

O alagamento do solo reduziu a produção de folhas nas cultivares Marandu (24,8%, $F_{1,24} = 78,7$; $P < 0,001$) e Comum (13,1%, $F_{1,24} = 12,2$; $P = 0,002$). Na cultivar Llanero, embora tenha sido detectada leve tendência de redução (5,2%) na biomassa de folhas em plantas alagadas, não foi possível encontrar diferença entre tratamentos para esse parâmetro ($F_{1,24} = 1,7$; $P = 0,2$) (Figura 5).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

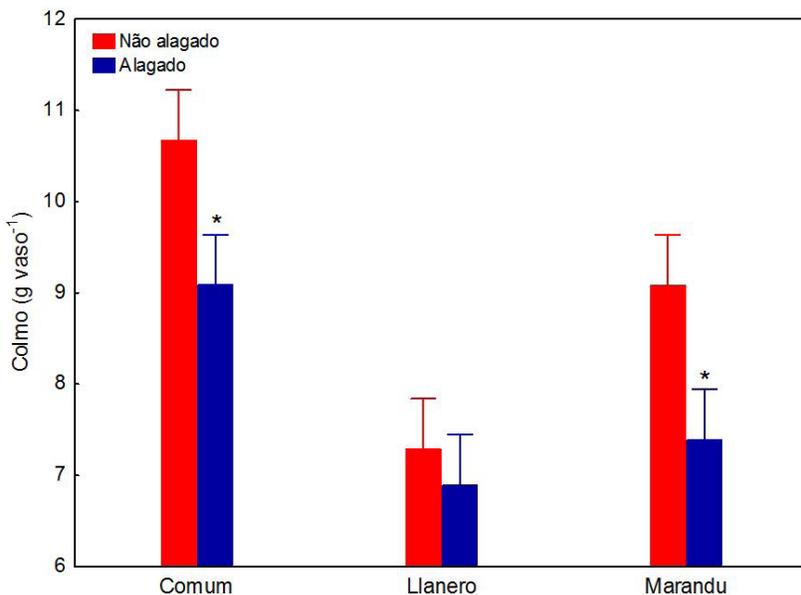
Figura 5. Massa seca de folhas por vaso de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

Ao compararem o comportamento de seis acessos de *Brachiaria* spp. submetidos a 5 dias de alagamento do solo, Caetano e Dias-Filho (2008) encontraram redução significativa da produção de massa seca de folhas em cinco desses acessos, sendo de 62% a redução na cultivar Marandu. Da

mesma forma, Dias-Filho (2002) reporta redução desse parâmetro em cinco acessos de *B. brizantha* submetidos a 14 dias de alagamento do solo.

Colmos

A produção de colmos foi menor nas plantas alagadas das cultivares Marandu (18,7%, $F_{1,24} = 19,8$; $P < 0,001$) e Comum (14,9%, $F_{1,24} = 17,4$; $P < 0,001$). Não foi possível encontrar diferença significativa ($F_{1,24} = 1,05$; $P = 0,31$), entre plantas alagadas e não alagadas, na cultivar Llanero (Figura 6).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 6. Massa seca de colmos por vaso de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

A redução da produção da biomassa de colmos, em plantas alagadas do gênero *Brachiaria*, é uma resposta comum, já reportada em estudo anterior (Dias-Filho, 2002).

Raízes

O alagamento do solo reduziu a produção de raízes em todas as cultivares (Figuras 7, 8 e 9). Essa redução foi maior na cultivar Marandu (44,7%, $F_{1,24} = 146,3$; $P < 0,001$), mediana na cultivar Comum ($F_{1,24} = 15,5$; $P < 0,001$) e menor na cultivar Llanero (16,5%, $F_{1,24} = 7,1$; $P = 0,001$) (Figura 10).

Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho



Figura 7. Raízes de *B. humidicola* 'Comum' cultivada em solo com drenagem livre (NA) e alagado (A).



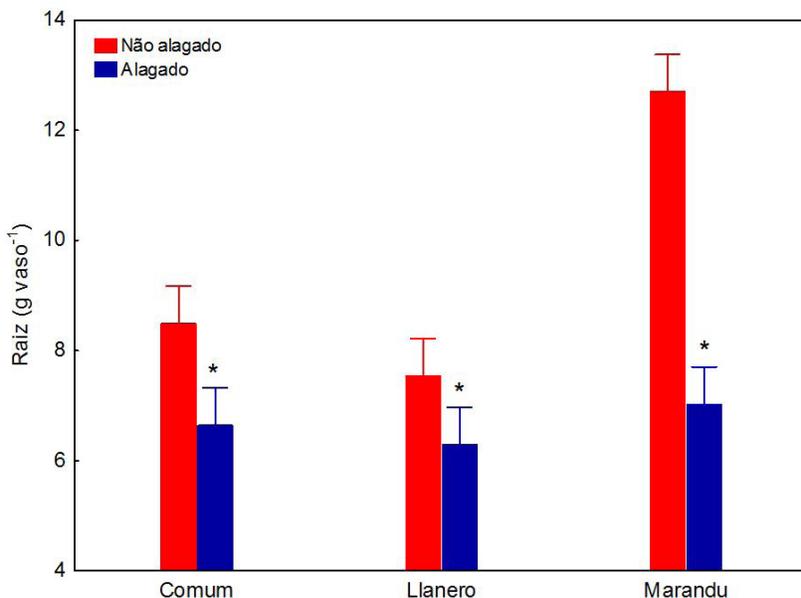
Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 8. Raízes de *B. humidicola* 'Llanero' cultivada em solo com drenagem livre (NA) e alagado (A).



Foto: Moacyr Bernardino Dias-Filho

Figura 9. Raízes de *B. brizantha* 'Marandu' cultivada em solo com drenagem livre (NA) e alagado (A).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 10. Massa seca de raízes por vaso de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

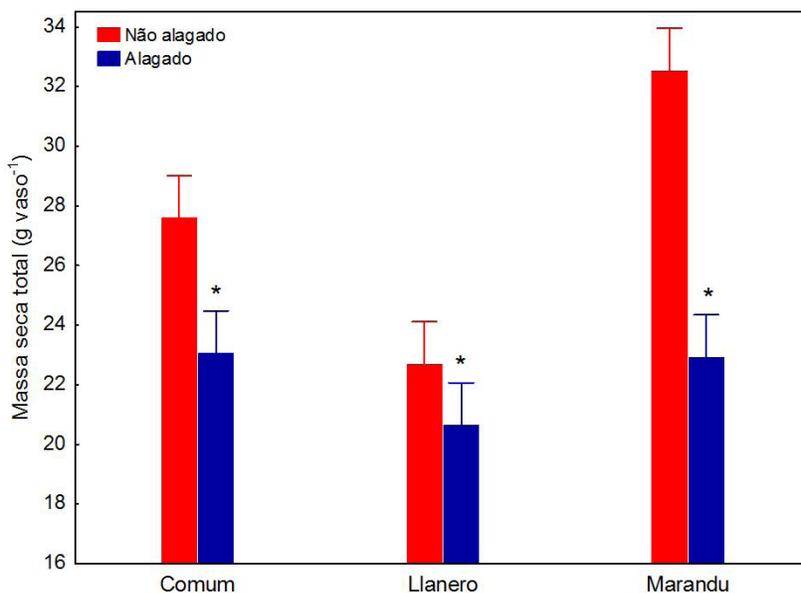
O excesso de água no solo proporciona estresse nas plantas cujo impacto é, na maioria dos casos, sentido diretamente pelas raízes e indiretamente pela parte aérea (Dias-Filho, 2013). A alta suscetibilidade das raízes ao excesso de água do solo deve-se ao fato de esse órgão ser essencialmente aeróbico (Visser et al., 1996), sendo, portanto, particularmente sensível à deficiência de oxigênio (Armstrong et al., 1994).

Ao avaliar a resposta de acessos de *Brachiaria* spp. a 5 dias de alagamento do solo, Caetano e Dias-Filho (2008) encontraram redução de 82% na produção de raízes de *B. ruziziensis* e de 74% na cultivar Marandu de *B. brizantha*. Da mesma forma, Dias-Filho (2002) relatou que o alagamento do solo reduziu a produção de raízes em cinco acessos de *B. brizantha*, incluindo a cultivar Marandu.

Mass Junior et al. (2016) encontraram tendência de redução na produção da biomassa de raízes da cultivar Marandu sob alagamento do solo e tendência de aumento desse parâmetro em plantas alagadas da cultivar Llanero.

Massa seca total

Houve interação significativa entre cultivares e tratamentos para produção de massa seca total ($F_{1,2} = 15,2$; $P < 0,001$). Sob alagamento do solo, a redução da produção de massa seca total da cultivar Marandu (29,6%, $F_{1,24} = 94,4$; $P < 0,001$) foi cerca de duas vezes maior do que a da cultivar Comum (16,5%, $F_{1,24} = 29,9$; $P < 0,001$). Na cultivar Llanero, a redução média na produção de massa seca total foi pouco mais da metade daquela apresentada pela cultivar Comum (9%, $F_{1,24} = 4,28$; $P = 0,05$) (Figura 11).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média ($N = 5$). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

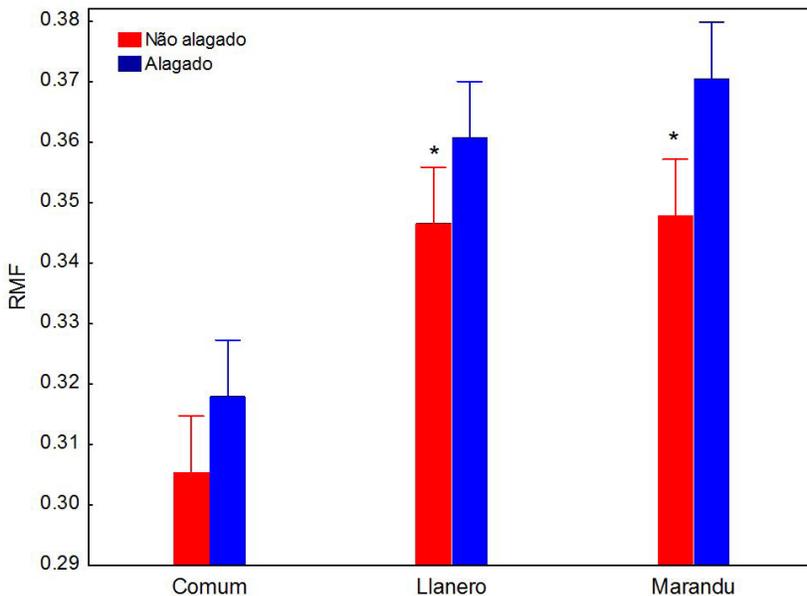
Figura 11. Massa seca total por vaso de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

Mass Junior et al. (2016) reportaram queda significativa na produção de massa seca da cultivar Marandu sob alagamento do solo. Porém, da mesma forma que se observou no presente estudo, não detectaram diferença entre a produção de massa seca das plantas alagadas e não alagadas da cultivar Llanero.

Por inibir a respiração aeróbica, reduzindo os níveis de energia da planta (produção de ATP), o excesso de água no solo diminui a produção de massa seca da planta. Mesmo em gramíneas forrageiras consideradas relativamente tolerantes a esse estresse, normalmente se observa tendência de queda na produção de massa seca em plantas alagadas (Dias-Filho, 2002; Beloni et al., 2017; Dias-Filho et al., 2018).

Razão de Massa de Folhas (RMF)

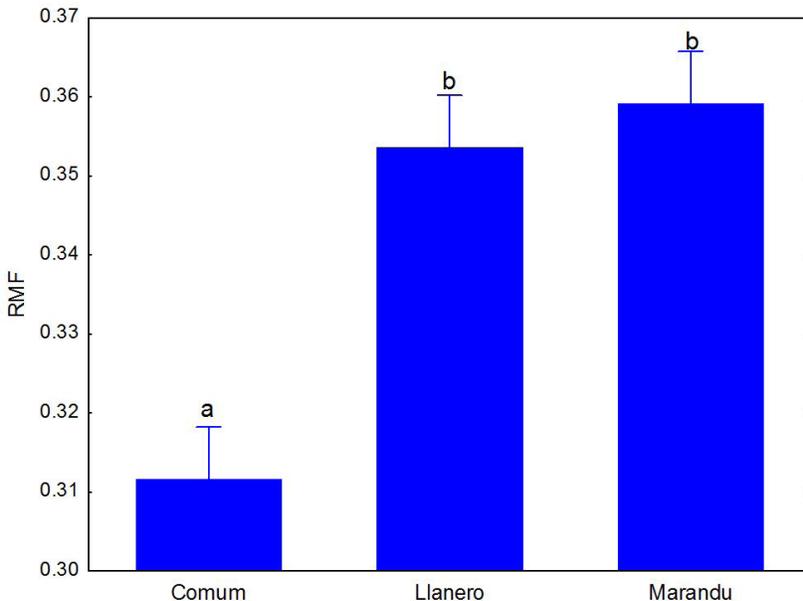
O alagamento do solo tendeu a aumentar a alocação de carbono para folhas na cultivar Comum (4%, $F_{1,24} = 3,8$; $P = 0,06$) e aumentou significativamente esse parâmetro nas cultivares Llanero (4,1%, $F_{1,24} = 4,8$; $P = 0,04$) e Marandu (6,5%, $F_{1,24} = 12,4$; $P = 0,001$) (Figura 12).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 12. Razão de massa de folhas (RMF) de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

É também possível observar na Figura 12 que, independentemente do tratamento, a cultivar Comum alocou menos carbono para a produção de folhas, em relação às demais cultivares. Ao comparar cultivares, independentemente do regime hídrico, observa-se essa diferença ($F_{2,24} = 65,5$; $P < 0,001$), a qual foi confirmada pelo teste de média (Figura 13). A cultivar Comum aloca menos carbono para folhas (em torno de 12%), considerando a biomassa total da planta, independentemente do regime hídrico do solo.

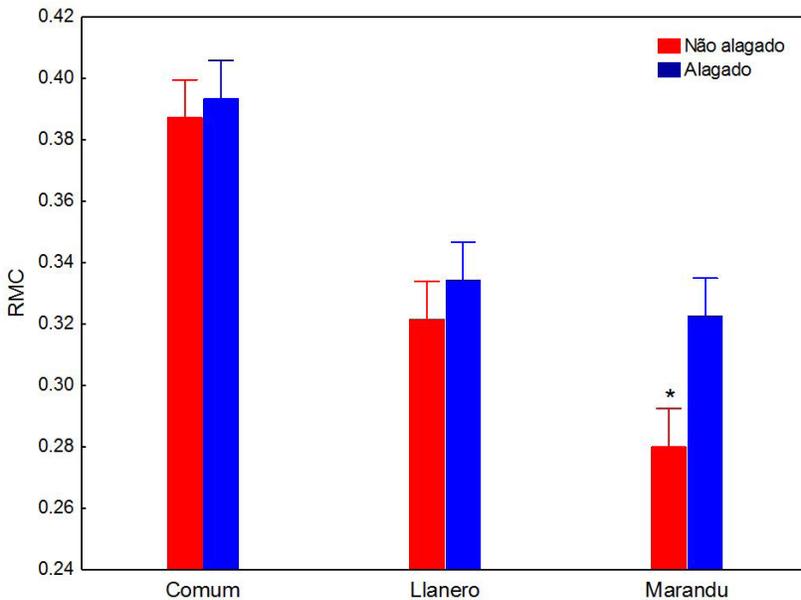


Valores são média ($n = 5$) + intervalo de confiança de 95% para a média. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes entre si ($P < 0,05$, Teste de Tukey).

Figura 13. Razão de massa de folhas (RMF) de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu'.

Razão de Massa de Colmos (RMC)

O alagamento do solo aumentou a proporção de biomassa alocada para os colmos na cultivar Marandu (15,2%, $F_{1,24} = 24,7$; $P < 0,001$). Nas cultivares Comum ($F_{1,24} = 0,54$; $P = 0,46$) e Llanero ($F_{1,24} = 2,2$; $P = 0,15$) observa-se leve tendência de aumento na alocação de carbono para os colmos em plantas alagadas, porém, não foi possível detectar essa diferença estatisticamente (Figura 14).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 14. Razão de massa de colmos (RMC) de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

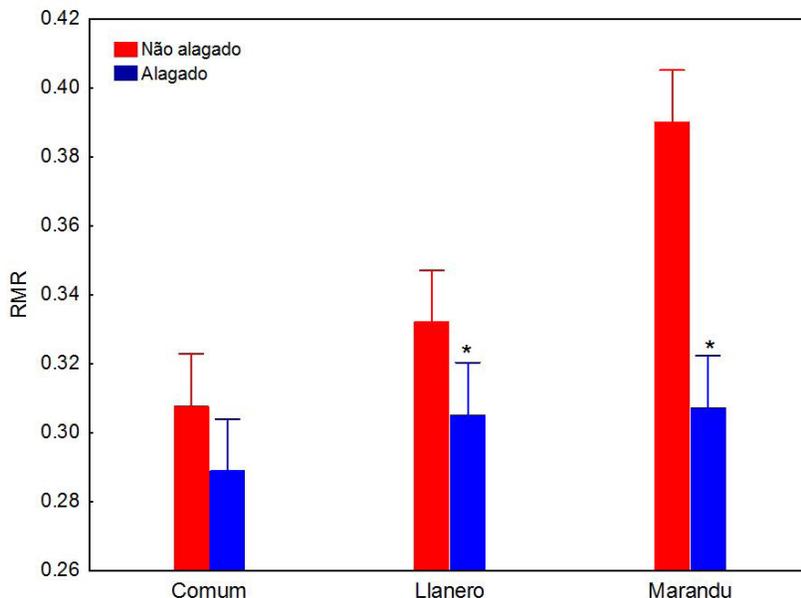
Caetano e Dias-Filho (2008) e Dias-Filho (2002) também encontraram resposta semelhante ao compararem a RMC entre plantas alagadas e não alagadas de *Brachiaria* spp

Observa-se ainda na Figura 14 que a cultivar Comum tende a alocar mais carbono para colmos, independentemente do regime hídrico, quando comparada às cultivares Marandu e Llanero. Ou seja, uma proporção considerável (cerca de 40%) da massa seca total da cultivar Comum é composta por colmos.

Razão de Massa de Raízes (RMR)

O alagamento do solo reduziu consideravelmente a alocação de carbono para as raízes na cultivar Marandu (21,3%, $F_{1,24} = 63,4$; $P < 0,001$) e, em menor proporção, na cultivar Llanero (8,1%, $F_{1,24} = 6,7$; $P = 0,02$). Na cultivar Comum,

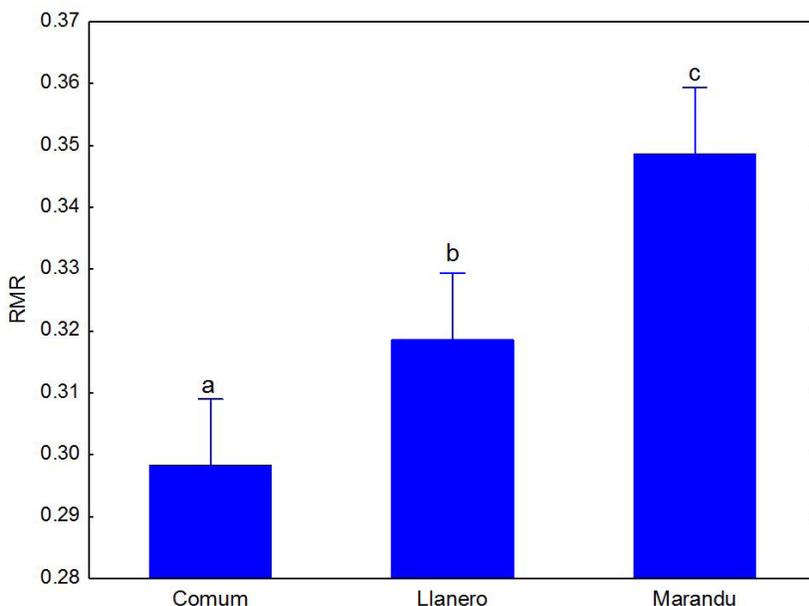
houve leve tendência de redução desse parâmetro, porém, não significativa (6,1%, $F_{1,24} = 3,2$; $P = 0,08$) (Figura 15)



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (N = 5). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; $P < 0,05$) entre tratamentos, para uma dada cultivar.

Figura 15. Razão de massa de raízes de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu' cultivadas em solo alagado e não alagado.

Observa-se na Figura 15 que a cultivar Comum tende a alocar menos carbono para as raízes, tanto nas plantas alagadas, quanto nas não alagadas, quando comparada às cultivares Marandu e Llanero. Essa tendência foi confirmada pela análise de variância ($F_{2,24} = 23,6$; $P < 0,001$) e teste de média, comparando a resposta de todas as cultivares, independentemente do regime hídrico (Figura 16).



Valores são média ($n = 5$) + intervalo de confiança de 95% para a média. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes entre si ($P < 0,05$, Teste de Tukey).

Figura 16. Razão de massa de raízes (RMR) de cultivares de *B. humidicola* (Comum e Llanero) e de *B. brizantha* 'Marandu'.

Por ter efeito deletério na produção de raízes, o alagamento do solo normalmente muda o padrão de alocação de carbono em favor da parte aérea (folhas e colmos), em detrimento das raízes (Dias-Filho, 2002, 2013). Assim, de acordo com Dias-Filho (2013), o excesso de água no solo simula o estresse sofrido pela planta durante o pastejo, em decorrência da desfolha. A razão para isso é que, tal qual ocorre durante a desfolha, o desenvolvimento das raízes é reduzido durante o alagamento do solo. Portanto, é importante que, em gramíneas forrageiras, tanto a produção quanto a alocação de biomassa para às raízes seja relativamente menos afetada durante o alagamento do solo.

Classificação da tolerância ao alagamento

Conforme pode ser constatado na Figura 17, as cultivares diferem quanto à tolerância ao alagamento do solo. A cultivar Marandu de *B. brizantha*, avaliada como testemunha, por ser considerada intolerante ao alagamento

do solo (Dias-Filho; Carvalho, 2000), foi, de fato, relativamente mais afetada por esse estresse, em todos os parâmetros medidos.

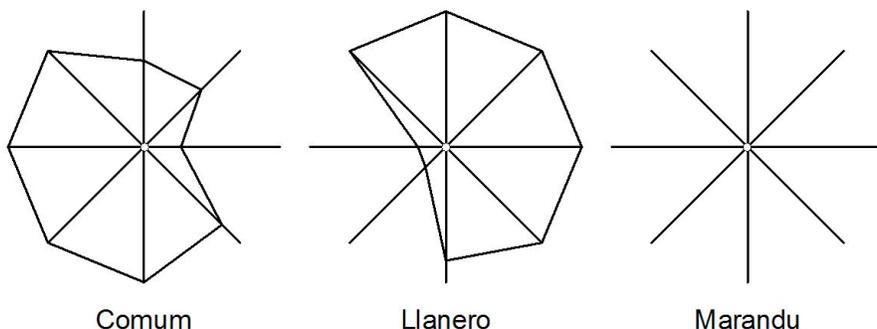


Figura 17. Raios indicando a resposta ao alagamento do solo para as cultivares Comum e Llanero de *B. humidicola* e Marandu de *B. brizantha*.

Iniciando na posição “12 horas” e no sentido horário, cada raio representa as seguintes variáveis de resposta: massa seca total, produção de folhas, produção de colmos, produção de raízes, razão de massa de raiz, taxa de alongamento foliar, perfilhamento e índice SPAD. Quanto maior a distância observada entre o centro do gráfico e o fim do raio, relativamente menos afetada foi aquela variável pelo alagamento do solo.

Observa-se na Figura 17 que as cultivares Comum e Llanero de *B. humidicola* foram relativamente mais tolerantes ao alagamento do solo, porém, diferiram entre si no grau de tolerância a esse estresse. A cultivar Llanero foi relativamente menos afetada pelo alagamento do solo em aspectos produtivos importantes, como a produção de folhas e raízes, dentre outros. Já a cultivar Comum superou a Llanero, sob alagamento do solo, apenas no perfilhamento, no alongamento foliar e na razão de massa radicular.

Conclusões

A cultivar Llanero de *B. humidicola* foi mais tolerante ao alagamento do solo do que a cultivar Comum. Ambas as cultivares de *B. humidicola* são mais tolerantes ao alagamento do solo do que a cultivar Marandu de *B. brizantha*, a qual é altamente suscetível a esse estresse.

Referências

- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.
- 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gfs.12281>>. Acesso em: 21 jun. 2019.
- CAETANO, L. P. S.; DIAS-FILHO, M. B. Responses of six *Brachiaria* spp. accessions to root zone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.
- COLMER, T. D.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 8, p. 665-681, 2009.
- DIAS-FILHO, M. B. Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 439-447, abr. 2002.
- DIAS-FILHO, M. B. Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e a síndrome da morte do capim-marandu. In: BARBOSA, R. A. (Ed.). **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 83-101.
- 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.; CARVALHO, C. J. R. de. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1959-1966, out. 2000.
- 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. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: SBCS, 2019. cap. 36, p. 1163-1181.
- HUNT, R. **Basic growth analysis for beginners**. London: U. Hyman, 1990. 112 p.
- INSAUSTI, P.; GRIMOLDI, A. A.; CHANETON, E. J.; VASELLATI, V. Flooding induces a suite of adaptive plastic responses in the grass *Paspalum dilatatum*. **New Phytologist**, v. 152, n. 2, p. 291-299, Nov. 2001.
- JIMÉNEZ, J. de la C.; CARDOSO, J. A.; ARANGO-LONDOÑO, D.; FISCHER, G.; RAO, I. Influencia de la fertilidad del suelo en la tolerancia a inundación en dos pastos de *Brachiaria*. **Agronomía Colombiana**, v. 33, n. 1, p. 20-28, Apr. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2le8fXp>>. Acesso em: 8 jun. 2019.
- LIMA, E. do V.; AZEVEDO, V. R. de; DIAS-FILHO, M. B. Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo, em condições controladas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010a. 1 CD-ROM.

- LIMA, E. do V.; AZEVEDO, V. R. de; DIAS-FILHO, M. B. Tolerância de três acessos de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo, em condições controladas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010b. 1 CD-ROM.
- LORETI, E.; van VEEN, H.; PERATA, P. Plant responses to flooding stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 33, p. 64-71, Oct. 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2qs5Vkw>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- MASS JUNIOR, R.; DOMICIANO, L. F.; RIBEIRO, L. F. C.; PEDREIRA, B. C. Growth responses of nine tropical grasses under flooding conditions. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2016.
- MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; MARTINEZ Y HUAMAN, C. A. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob alagamento em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 765-773, maio/jun. 2005.
- MOLLARD, F. P. O.; STRIKER, G. G.; PLOCHUK, E. L.; VEGA, A. S.; INSAUSTI, P. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 203, n. 7, p. 548-556, Oct. 2008.
- PEDREIRA, B. C.; DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. de; PEREIRA, D. H.; HOLSCHUCH, S. G.; CAVALLI, J. Convivendo com a síndrome da morte do braquiário na Amazônia. In: DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. de (Ed.). **Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 127-151.
- SAIRAM, R.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P.; SRIVASTAVA, G. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.
- VISSER, E. J. W.; COHEN, J. D.; BARENDSE, C. W. M.; BLOM, C. W. P. M.; VOESENEK, L. A. C. J. An ethylene-mediated increase in sensitivity to auxin induces adventitious root formation in flooded *Rumex palustris* Sm. **Plant Physiology**, v.112, n. 4, p. 1687-1692, 1996.
- VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flooding tolerance: O₂ sensing and survival strategies. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 16, n. 5, p. 647-653, Oct. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2JlKyEo>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- TEIXEIRA NETO, J. F. T.; SIMÃO NETO, M.; COUTO, W. S.; DIAS-FILHO, M. B.; SILVA, A. de B.; DUARTE, M. de L.; ALBUQUERQUE, F. C. **Prováveis causas da morte do capim-braquiário (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) na Amazônia Oriental**: relatório técnico. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 20 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 36).
- YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 87-93, Nov. 2009.



Amazônia Oriental

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 15576