ISSN 1983-0483 Novembro / 2019

# BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 135

# Tolerância Relativa ao Alagamento do Solo e Desempenho Agronômico de Acessos de *Arachis pintoi*









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

### BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 135

# Tolerância Relativa ao Alagamento do Solo e Desempenho Agronômico de Acessos de *Arachis pintoi*

Moacyr Bernardino Dias-Filho Monyck Jeane dos Santos Lopes Mayane Vilhena de Freitas Giselle Mariano Lessa de Assis

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 Liliane 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 Liliane 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

Tolerância relativa ao alagamento do solo e desempenho agronômico de acessos de *Arachis pintoi /* Moacyr Bernardino Dias-Filho... [et al.]. – Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019.

28 p. : İl. ; 16 cm x 22 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0483; 135).

Amendoim forrageiro.
 Solo inundado.
 Leguminosa forrageira.
 Resistência.
 Dias-Filho, Moacyr Bernardino.
 Embrapa Amazônia Oriental.
 Série.

CDD 21 ed 633.3

## Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões	27
Referências	27

# Tolerância Relativa ao Alagamento do Solo e Desempenho Agronômico de Acessos de *Arachis pintoi*

Moacyr Bernardino Dias-Filho<sup>1</sup> Monyck Jeane dos Santos Lopes<sup>2</sup> Mayane Vilhena de Freitas<sup>3</sup> Giselle Mariano Lessa de Assis<sup>4</sup>

Resumo – O comportamento de cinco acessos de Arachis pintoi (39, 57, 77, 83 e 90) foi comparado, durante 15 dias, em plantas cultivadas em vasos, sob alagamento ou em solo bem drenado. O objetivo foi classificar esses acessos quanto à tolerância relativa ao alagamento do solo e avaliar o desempenho agronômico desses acessos, independentemente do regime hídrico. O decréscimo no índice SPAD, em resposta ao alagamento do solo, foi maior nos acessos 77, 39 e 90 e menor no acesso 83. O percentual de redução na produção de massa seca da parte aérea das plantas alagadas foi maior nos acessos 90 e 57 e menor no acesso 39. O alagamento do solo reduziu a floração no acesso 90. Nos demais acessos não foi possível encontrar diferenças entre tratamentos para esse parâmetro. Independentemente do tratamento, a floração dos acessos 39 e 83 foi muito baixa. Em todos os acessos avaliados foi observada a presenca de raízes adventícias nas plantas alagadas, no entanto, nos acessos 39 e 57, houve tendência de menor produção dessas raízes. A presença de lenticelas também foi observada em todos os acessos sob alagamento, sendo menor no acesso 83. Os acessos avaliados diferem quanto à tolerância relativa ao alagamento do solo: o acesso 39 é o mais tolerante, seguido pelo acesso 77. Os acessos 57 e 83 têm tolerância intermediária, enquanto o acesso

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ecofisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, bolsista PCI do Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, PA

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Engenheira-agrônoma, Belém, PA

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

90 é relativamente menos tolerante ao alagamento do solo. O desempenho agronômico, avaliado pelo potencial de produção de massa seca e floração, teve comportamento contrário ao grau de tolerância. Ou seja, o acesso 90 é o de melhor desempenho e o 39 o de pior.

**Termos para indexação:** índice SPAD, raízes adventícias, floração, lenticelas, leguminosa forrageira.

# Relative Tolerance to Soil Flooding and Agronomic Performance of *Arachis pintoi* Accessions

Abstract – Pot-grown plants of five Arachis pintoi accessions, 39, 57, 77, 83 e 90, were waterlogged for fifteen days. The objective was to classify these accessions regarding the tolerance to soil flooding and to evaluate the agronomic performance of these accessions, independently of the water regime. The decrease in the SPAD index, in response to soil flooding, was higher in accessions 77, 39 and 90 and lower in accession 83. Reduction in shoot dry mass production was higher in accessions 90 and 57 and lower in accession 39. Soil flooding reduced flowering on accession 90. In the other accessions, it was not possible to find differences between treatments for this parameter. Regardless of the treatment, flowering of accessions 39 and 83 was very low. All accessions produced adventitious roots in flooded plants; however, in accessions 39 and 57 there was a trend of lower production of these roots. Lenticels were also observed in all accessions under flooding, being less abundant in accession 83. The evaluated accessions differ in their relative tolerance to soil flooding: accession 39 is the most tolerant, followed by accession 77. Accessions 57 and 83 are intermediate in flooding tolerance, while accession 90 has the lowest relative tolerance to soil flooding. The agronomic performance, evaluated by the potential of dry mass production and flowering, had an opposite behavior to the degree of tolerance. That is, accession 90 has the best performance and 39 the worst.

**Index terms:** SPAD index, adventitious roots, flowering, lenticels, forage legume.

### Introdução

Em pastagens tropicais, o alagamento temporário do solo é um evento relativamente comum. Essa característica decorre do fato de que, nos trópicos, uma proporção considerável das áreas destinadas à exploração pecuária está situada em terras marginais, não totalmente adequadas para a agricultura. Como consequência, muitas das pastagens formadas nesses locais estão em solos com baixa drenagem natural. Além disso, práticas inadequadas de manejo da pastagem, como o pisoteio excessivo do gado em solos desprovidos de cobertura vegetal, o trânsito frequente de máquinas e veículos e o uso seguido de grade aradora, o qual dá origem à camada subsuperficial de solo compactado ("pé-de-grade"), podem diminuir a drenagem natural do solo da pastagem.

Assim, mesmo naqueles locais em que o alagamento do solo não seja evento naturalmente esperado, é possível que as práticas vigentes ou anteriores de manejo contribuam para tornar esse estresse comum no ecossistema da pastagem. Nessa situação, cresce a necessidade de identificar genótipos de plantas forrageiras que sejam mais tolerantes ao excesso de água no solo (Dias-Filho, 2013). Essa necessidade é particularmente premente para as leguminosas forrageiras, por geralmente apresentarem maior suscetibilidade ao excesso de água no solo (Striker; Colmer, 2017), quando comparadas a gramíneas forrageiras.

A baixa difusão do oxigênio na água inibe sua disponibilidade para as plantas sujeitas ao excesso de água no solo, expondo essas plantas à hipoxia ou à anoxia. Essa condição de excesso hídrico limita a síntese de adenosina trifosfato (ATP) e a fotossíntese (Bailey-Serres; Voesenek, 2008), diminuindo os níveis de carboidrato e energia celular, restringindo o crescimento e a capacidade competitiva da planta (Ashraf, 2012; Dias-Filho, 2013; Loreti et al., 2016).

Diferentes espécies vegetais ou mesmo diferentes genótipos, dentro da mesma espécie, podem desenvolver estratégias distintas para lidar com o excesso hídrico (Bailey-Serres; Voesenek, 2008; van Veen et al., 2013) e, como consequência, apresentar diferentes graus de tolerância a esse estresse. A habilidade de determinado genótipo vegetal para ajustar o seu comportamento fisiológico, morfológico e anatômico, em resposta ao excesso

de água no solo, é o que determina o seu grau de tolerância a esse estresse (Colmer; Voesenek, 2009; Dias-Filho, 2013).

Embora já seja conhecido que a leguminosa forrageira *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) é uma espécie relativamente tolerante ao alagamento do solo (Ciotti et al., 2006), é possível supor que genótipos dessa espécie apresentem diferenças no grau de tolerância a esse estresse. Assim, o objetivo com o presente estudo foi avaliar e comparar o comportamento de cinco acessos de *A. pintoi* ao excesso de água no solo, visando subsidiar o programa de melhoramento genético dessa espécie, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Assis; Valentim, 2013). Um objetivo secundário deste estudo foi comparar o desempenho agronômico dos acessos avaliados, independentemente do regime hídrico.

#### Material e Métodos

#### Material vegetal e modo de cultivo

Mudas da cultivar BRS Mandobi (Assis et al., 2013) e de mais quatro acessos de *A. pintoi* (Tabela 1), oriundas do Banco Ativo de Germoplasma de Amendoim Forrageiro, localizado na Embrapa Acre, em Rio Branco, AC, foram plantadas em vasos plásticos (quatro mudas por vaso), de 31 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, com capacidade para 8 kg (massa seca) de solo, na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (1°28'S). O substrato usado 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 acessos de *Arachis pintoi* avaliados, segundo a nomenclatura do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Acre, número BRA e coletor ou cultivar.

BAG Embrapa Acre	BRA	Coletor / Cultivar
39	040223	V 15069
57	030635	V 13211
83	040193	V 15062
77	040550	BRS Mandobi
90	016357	Vi 301

Trinta e oito dias após o plantio, o alagamento foi iniciado, inundando-se os vasos até 3 cm acima do nível do solo, por meio de vedação dos drenos. As plantas não alagadas permaneceram nos vasos com drenagem livre e eram irrigadas diariamente, até saturação do solo. O alagamento durou 15 dias (Figura 1).



**Figura 1.** Vista parcial do experimento, com o detalhe dos tratamentos não alagado (esquerda) e alagado (direita).

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 30% da radiação solar direta, não havendo controle de umidade, temperatura e eventos de chuva.

#### **Avaliações**

O conteúdo de clorofila foi expresso como índice SPAD (Soil Plant Analysis Development), medido com um medidor de clorofila (SPAD – Konica Minolta Sensing, INC. Japão). As medições foram feitas a partir do primeiro dia do 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 acesso. As folhas usadas para as medições do índice SPAD eram folhas recentemente expandidas.

A produção de massa seca da parte aérea foi avaliada, ao final do ensaio (15 dias após o início do alagamento), cortando-se as plantas rente ao solo. A massa seca foi determinada após secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, por 48 horas.

A presença de raízes adventícias e de lenticelas foi avaliada, subjetivamente, 15 dias após o início do alagamento. Foram atribuídas as seguintes notas: 0 – sem raízes adventícias ou lenticelas, 1 – baixa produção, 2 – média produção e 3 – alta produção. O número de flores por vaso foi computado aos 15 dias após o início do alagamento do solo.

#### Delineamento experimental e análise estatística

Os vasos foram distribuídos em arranjo fatorial (5x2, cinco acessos de A. pintoi, com e sem alagamento), no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As médias das variáveis de índice SPAD, produção de massa seca e número de flores foram submetidas à análise de variância (Anova), com os acessos e presença ou ausência de alagamento como efeitos principais. Os dados referentes à abundância de raízes adventícias e lenticelas, nas plantas alagadas, foram submetidas à Anova, com acesso como efeito principal. Os requisitos de homogeneidade de variâncias e normalidade foram testados para cada Anova e, quando necessário, os dados sofreram transformação logarítmica. Os dados transformados foram retransformados para apresentação. Quando apropriado, contrastes ortogonais foram calculados para determinar diferenças entre tratamentos dentro de um mesmo acesso. Para abundância de raízes adventícias e lenticelas, foi empregado teste de média (Duncan a 5%) para determinar diferenças entre acessos. Esse procedimento também foi usado para o número de flores e produção de massa seca, visando determinar diferenças entre as interações regimes hídricos e acessos.

Usou-se a correlação de Spearman para avaliar a relação monotônica entre escores visuais de abundância de raízes adventícias e de lenticelas. Análises multivariadas de componentes principais e de escalonamento multidimensional foram usadas objetivando agrupar (ou seja, classificar) os acessos com maior similaridade na tolerância relativa ao alagamento do solo. Os dados para as análises multivariadas foram obtidos por meio da diferença percentual média entre as plantas do tratamento não alagado e alagado de

um mesmo acesso para o índice SPAD, produção de massa seca e floração. Considerou-se que os acessos mais tolerantes ao alagamento apresentam menor percentual de variação entre as plantas não alagadas e alagadas. Os dados referentes à presença de raízes adventícias e lenticelas em plantas alagadas também foram incorporados às análises multivariadas. Nesse caso, considerou-se como acessos mais tolerantes ao alagamento do solo aqueles com maior escore dessas variáveis. Todos os dados foram padronizados para média de 0 e um desvio padrão de 1, antes de conduzir as análises multivariadas.

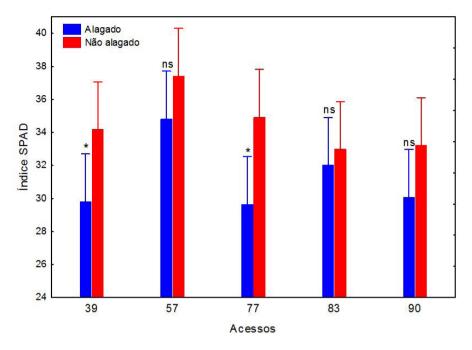
Para classificar os acessos quanto ao desempenho agronômico, considerou-se a produção de massa seca e a produção de flores. A lógica usada nessa classificação foi que os acessos com maior potencial de produção de massa seca e floração, independentemente do regime hídrico, teriam melhor desempenho agronômico.

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

#### Índice SPAD (teor de clorofila)

A clorofila é o principal pigmento demandado pela planta para a realização da fotossíntese. A perda desse pigmento, em decorrência do alagamento do solo, é um evento bem conhecido (Ashraf, 2012), sendo, em plantas pouco tolerantes, visualmente identificada pelo amarelecimento precoce das folhas. Embora, no presente estudo, não tenha sido observado amarelecimento precoce das folhas, nas plantas alagadas, em geral, houve tendência de redução de clorofila nesse tratamento para todos os acessos avaliados (Figura 2).



Os valores são média + intervalo de confiança de 95% para a média (n=3). Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; P<0,05) entre tratamentos, para um determinado acesso. ns indica que não foi possível detectar diferença entre tratamentos para aquele acesso.

**Figura 2.** Índice SPAD (teor de clorofila) de acessos de *Arachis pintoi* cultivados em solo alagado e não alagado, 15 dias após o início do alagamento do solo.

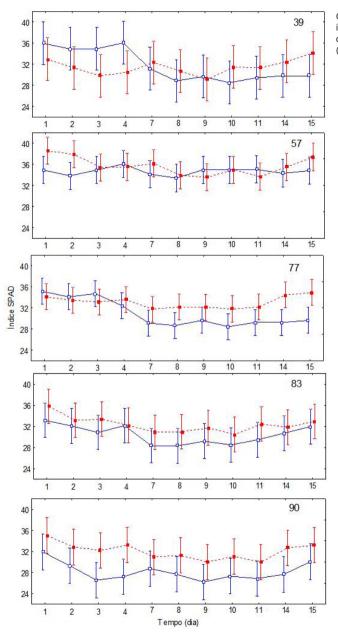
Contrastes ortogonais da diferença entre os tratamentos não alagado e alagado, para um mesmo acesso de *A. pintoi*, indicam que o teor de clorofila, medido 15 dias após o início do alagamento do solo, foi reduzido nas plantas alagadas dos acessos 39 (14,6%,  $F_{1,20}$  = 4,9; P = 0,038) e 77 (17,8%,  $F_{1,20}$  = 7,15; P = 0,015). Nos demais acessos, não foi possível detectar diferença entre tratamentos.

A evolução do teor de clorofila durante o período experimental (Figura 3) revela que, sob alagamento do solo, tanto o acesso 90 quanto o 83 tenderam a apresentar diminuição consistente desse parâmetro, durante todo o período de avaliação. No acesso 57, essa diminuição só foi aparente nos primeiros 2 dias de alagamento, não havendo, posteriormente, tendência consistente

de resposta. No acesso 77, essa tendência de diminuição, em resposta ao excesso hídrico, ocorreu a partir do terceiro dia de alagamento do solo e se manteve até o final do período de avaliação. O acesso 39 teve comportamento contrário, com tendência de aumento do índice SPAD, nas plantas alagadas, durante os primeiros dias de alagamento e inversão dessa tendência nas avaliações subsequentes.

Considerando o valor médio do índice SPAD, durante todo o período experimental, foi possível identificar redução significativa desse parâmetro entre plantas não alagadas versus alagadas, nos acessos 77 (33,06 vs. 30,44 = 6,87%;  $F_{1,44}$ = 16,55; P<0,001), 83 (32,36 vs. 30,44 = 6,11%;  $F_{1,44}$ = 7,73; P=0,008) e 90 (32,04 vs. 28,13 = 13,33%;  $F_{1,44}$ = 30,05; P<0,001). Nos demais acessos não foi possível encontrar diferença significativa no valor médio do índice SPAD entre tratamentos. Assim, no acesso 39, houve, inclusive, uma muito discreta tendência de aumento desse índice nas plantas alagadas (31,46 vs. 31,73), enquanto o acesso 57 manteve a mesma tendência de resposta observada nos demais acessos avaliados (35,68 vs. 34,66).

Em genótipos de soja, o teor de clorofila, avaliado por meio do índice SPAD, foi consistentemente reduzido (18% a 34%) pelo alagamento do solo (Mutava et al., 2015). Em genótipos das leguminosas *Vigna mungo* (Bansal et al., 2019), *Vigna radiata* (Kumar et al., 2013), *Cajanus cajan* (Bansal; Srivastava, 2015), *Pisum sativum, Lens culinaris* e *Lathyrus sativus* (Malik et al., 2015), o alagamento do solo também reduziu o teor de clorofila. Porém, nos estudos citados, os genótipos com maior tolerância ao alagamento do solo tenderam a manter, em termos relativos, o teor de clorofila nas folhas, durante o alagamento, ou recuperar o teor de clorofila, após a drenagem do solo. No presente estudo, os acessos 57 e 39 foram os que melhor mantiveram o teor de clorofila nas folhas, enquanto o acesso 90 foi, em termos relativos, o mais afetado pelo alagamento do solo no teor de clorofila.

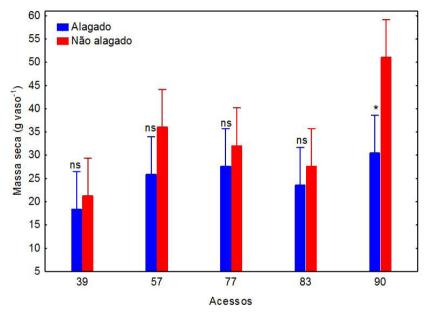


**Figura 3.** Evolução do índice SPAD de cinco acessos de *Arachis pintoi*, cultivados em solo alagado (linhas cheias e símbolos abertos) e não alagado (linha pontilhada, símbolo fechados), durante 15 dias.

Os valores são média ± intervalo de confiança de 95% para a média (n=3).

#### Produção de massa seca da parte aérea

Em todos os acessos foi observada tendência de diminuição da produção de massa seca da parte aérea, em decorrência do alagamento do solo. No entanto, só foi possível comprovar essa redução no acesso 90, o qual sofreu uma diminuição substancial na produção de massa seca (67,6%,  $F_{1,20}$  = 13,98; P = 0,001) nas plantas alagadas (Figura 4).



Os valores são média (n=3) + intervalo de confiança de 95% para a média. Um asterisco indica diferença significativa (contraste ortogonal; P<0,05) entre tratamentos, para um determinado acesso. ns indica que não foi possível detectar diferença significativa entre tratamentos para aquele acesso.

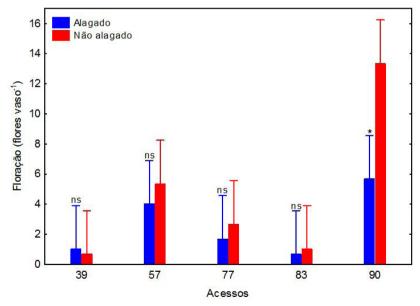
**Figura 4.** Produção de massa seca da parte aérea de acessos de *Arachis pintoi* cultivados em solo alagado e não alagado. Observação feita 16 dias após o início do alagamento do solo.

Em leguminosas forrageiras, a redução na produção de biomassa aérea em plantas alagadas está indiretamente relacionada ao grau de tolerância a esse estresse (Striker; Colmer, 2017). A razão para isso é que a hipoxia e a anoxia resultantes do alagamento de solo causam deficit de energia, em decorrência da mudança da respiração aeróbica para a anaeróbica. O metabolismo anaeróbico envolve, principalmente, glicólise e fermentação, via de produção de energia menos eficiente (Dias-Filho, 2013). Como consequência, ocorrem reduções severas na produção de biomassa da

parte aérea de plantas menos adaptadas ao alagamento do solo (Armstrong, 1979; Colmer; Voesenek, 2009). Entretanto, no presente estudo, isso foi comprovado somente para o acesso 90.

#### Floração

O alagamento do solo reduziu a floração no acesso 90 (135,3%,  $F_{1,20}$  = 15,11; P<0,001). Nos demais acessos avaliados não foi possível detectar diferença entre tratamentos (Figura 5). No entanto, é possível observar uma discreta tendência de diminuição da floração, em resposta ao alagamento do solo, nos acessos 83, 77 e 57. Da mesma forma, é possível notar um discreto aumento na floração de plantas alagadas do acesso 39. Entretanto, assim como no acesso 83, no acesso 39 a floração foi muito baixa, independentemente do regime hídrico, não sendo possível, nesses dois casos, uma conclusão mais consistente, em termos biológicos, para diferença entre regimes hídricos para esse parâmetro.



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 acesso. ns indica que não foi possível detectar diferença entre tratamentos para aquele acesso.

**Figura 5.** Produção de flores de acessos de *Arachis pintoi* cultivados em solo alagado e não alagado. Observação feita 15 dias após o início do alagamento do solo.

Em gergelim (*Sesamum indicum*), o alagamento do solo inibiu a floração, ou induziu ao aborto de flores, em plantas submetidas ao alagamento do solo (Mensah et al., 2006). Da mesma forma, o alagamento do solo induziu à queda de flores em cultivares de soja (Schöffel et al., 2001). Em feijão (*Phaseolus vulgaris*), o alagamento imposto ao solo, no início do desenvolvimento vegetativo, impediu a floração dessa espécie (Reed et al., 2005).

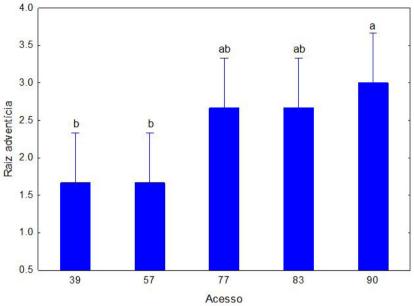
#### Raízes adventícias

Sob alagamento do solo, todos os acessos avaliados produziram raízes adventícias (Figura 6). A formação dessas estruturas iniciou-se durante os primeiros 5 dias após a imposição do alagamento do solo.



**Figura 6.** Detalhe da produção de raízes adventícias em um acesso de *Arachis pintoi* sob alagamento do solo.

A presença de raízes adventícias tendeu a ser discretamente maior no acesso 90, seguida pelos acessos 77 e 83, sendo menor nos acessos 57 e 39 (Figura 7).



Valores são média (n=3) + intervalo de confiança de 95% para a média. Médias com letras diferentes são significantemente diferentes entre si (P<0,05, Teste de Duncan).

**Figura 7.** Escore visual da presença de raízes adventícias em acessos de *Arachis pintoi*, cultivados em solo alagado.

Sob alagamento do solo, a produção de raízes adventícias confere às plantas maior capacidade para a aquisição de recursos, provendo, portanto, maior tolerância ao excesso hídrico, particularmente em situações de longa duração desse estresse (Zhang et al., 2017). No entanto, existem situações nas quais, mesmo em plantas com certa tolerância ao alagamento do solo, não se observa a formação de raízes adventícias, quando expostas ao excesso hídrico (Malik et al., 2015). Da mesma forma, o aparecimento dessas raízes pode ocorrer em genótipos considerados relativamente intolerantes ao excesso de água no solo (Dias-Filho, 2002). Assim, em ensaio pioneiro sobre o desempenho de leguminosas forrageiras tropicais em solo alagado, Whiteman et al. (1984) observaram baixa produção de raízes adventícias em *Stylosanthes guianensis*, muito embora essa espécie tenha sido capaz de sobreviver a 21 dias contínuos de alagamento do solo. No mesmo estudo, *Centrosema pubescens* também apresentou baixa produção de raízes adventícias, no entanto, não conseguiu sobreviver durante o mesmo período

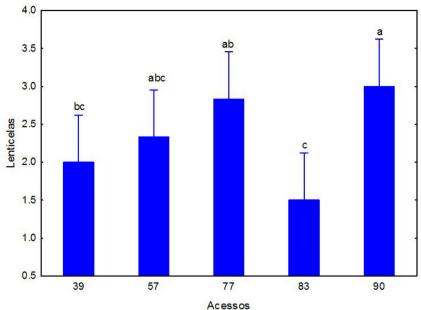
de alagamento do solo. Portanto, conforme observado por Dias-Filho (2013), a formação de raízes adventícias pode não ser suficiente para tornar a planta mais tolerante ao excesso hídrico.

#### Lenticelas e aerênquima

Durante os primeiros 5 dias de imposição do alagamento do solo, observou-se o desenvolvimento de lenticelas (Figura 8) nas hastes submersas de todos os acessos avaliados. Essas estruturas tenderam a ser mais abundantes nos acessos 90 e 77, em relação ao acesso 83, sendo intermediárias nos acessos 57 e 39 (Figura 9).



**Figura 8.** Detalhe da produção de lenticelas na haste de um acesso de *Arachis pintoi*, sob alagamento do solo.



Valores são média (n=3) + intervalo de confiança de 95% para a média. Médias com letras diferentes são significantemente diferentes entre si (P<0,05, Teste de Duncan).

**Figura 9.** Escore visual da presença de lenticelas em acessos de *Arachis pintoi*, cultivados em solo alagado. Observação feita 15 dias após o início do alagamento do solo.

Da mesma forma, todos os acessos avaliados foram capazes de formar aerênquimas nas hastes (Figura 10). O desenvolvimento de lenticelas e a presença de aerênquimas são formas importantes de adaptação ao alagamento do solo em leguminosas herbáceas (Shimamura et al., 2010), contribuindo para a aeração das raízes submersas. No presente estudo, a presença dessas estruturas nas plantas alagadas é uma indicação da adaptação de *Arachis pintoi* ao excesso hídrico, conforme já observado em estudo anterior (Ciotti et al., 2006).

Considerando todos os acessos avaliados, encontrou-se uma correlação positiva (Coeficiente de correlação de Spearman = 0,66; P = 0,007) entre a formação de lenticelas e a de raízes adventícias.



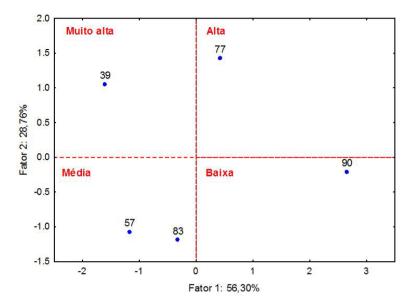
**Figura 10.** Detalhe da presença de aerênquima na haste de um acesso de *Arachis pintoi* sob alagamento do solo.

# Tolerância relativa ao alagamento do solo e desempenho agronômico

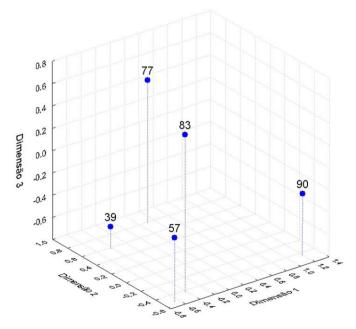
Todos os acessos de *Arachis pintoi* sobreviveram ao período de alagamento do solo. Sintomas aparentes de estresse, como emurchamento ou amarelecimento precoce de folhas, não foram visualmente perceptíveis.

A concepção gráfica do resultado da análise de componentes principais confirmou a hipótese de que os acessos avaliados apresentam, entre si, variação nos níveis de tolerância ao alagamento do solo (Figura 11).

A diferença entre acessos de *A. pintoi* no grau de tolerância relativa ao alagamento de solo foi também confirmada pelo gráfico tridimensional gerado pela análise de escalonamento multidimensional (Figura 12). Nesse gráfico, é possível visualizar a estrutura de compartimentação dos acessos em quatro grupos distintos, tal qual foi evidenciado no resultado da análise de componentes principais (Figura 11).



**Figura 11.** Classificação da tolerância relativa ao alagamento do solo de acessos de *Arachis pintoi*, com base na análise de componentes principais.



**Figura 12.** Diagrama tridimensional da análise de escalonamento multidimensional (MDS) de acessos de *Arachis pintoi* sob alagamento do solo.

Deve-se ressaltar que a escala de classificação da tolerância ao alagamento do solo, sugerida na Figura 11, tem sua base conceitual na relatividade. Isto é, cada acesso é comparado consigo mesmo, quanto à diferença de comportamento entre plantas não alagadas e alagadas. Essa diferenca é categorizada dentre os acessos avaliados. Assim, essa escala indica, em termos relativos aos demais acessos, o quanto o desempenho de um dado acesso foi atenuado, em decorrência do alagamento do solo. Portanto, considerando-se que A. pintoi é uma espécie de reconhecida tolerância ao alagamento temporário do solo (Ciotti et al., 2006), mesmo o acesso 90, classificado, no presente estudo, como tendo "baixa" tolerância ao alagamento do solo, não é necessariamente intolerante a essa condição. Nesse caso, o termo "baixa tolerância" apenas indica que, em relação aos demais acessos avaliados, plantas alagadas do acesso 90 apresentaram, em geral, maior redução nos parâmetros avaliados. Mesmo assim, o desempenho agronômico de plantas alagadas desse acesso foi, em algumas ocasiões, equivalente ou até superior ao das plantas não alagadas dos demais acessos. Além disso, no acesso 90 houve abundante desenvolvimento de raízes adventícias e lenticelas em resposta ao alagamento do solo, sugerindo relativa adaptação ao excesso hídrico. No entanto, em situações mais perduráveis de alagamento do solo, seria possível antever maior vantagem dos demais acessos classificados com maior tolerância relativa ao alagamento do solo.

O desempenho agronômico dos acessos de *A. pintoi* apresentou um comportamento praticamente inverso ao grau de tolerância relativa ao alagamento do solo. Ou seja, considerando todos os parâmetros medidos ou observados, o acesso 90 foi o de melhor desempenho agronômico, enquanto o acesso 39 foi, relativamente, o acesso de pior desempenho, notadamente em plantas não alagadas.

Essa condição foi particularmente evidente para a produção de massa seca e floração. A floração, mesmo sem levar em conta a diferença entre regimes hídricos, foi muito baixa na maioria dos acessos avaliados, sendo maior no acesso 90, seguido do acesso 57 e este do 77. Nos acessos 83 e 39 a floração foi muito baixa, independentemente do tratamento (Tabela 2).

<b>Tabela 2.</b> Número de flores <sup>(1)</sup> por vaso de acessos de <i>Arachis pintoi</i> , cultivados em solo
não alagado e alagado, durante 15 dias.

Acesso	Tratamento	Flores vaso <sup>-1</sup>
90	Não alagado	13,3 a
90	Alagado	5,7 b
57	Não alagado	5,3 bc
57	Alagado	4,0 bc
77	Não alagado	2,7 bc
77	Alagado	1,6 bc
39	Alagado	1,0 c
83	Não alagado	1,0 c
83	Alagado	0,7 c
39	Não alagado	0,6 c

<sup>(</sup>¹)Valores são média (n=3). Médias com letras diferentes são significantemente diferentes entre si (P<0,05, Teste de Duncan).

Embora em *A. pintoi* a maior intensidade de floração não seja necessariamente associada com a maior produção de sementes (Carvalho et al., 2009), a floração e a consequente produção de sementes são características agronômicas importantes para perenizar a planta na pastagem e facilitar sua propagação, em grande escala. Desse modo, é possível concluir que o acesso 90 pode apresentar grande vantagem em relação aos demais acessos, em particular aos acessos 39 e 83. De fato, em ensaio conduzido em Rio Branco, no estado do Acre, durante 2 anos (Miqueloni, 2018), a floração seguiu a seguinte ordem decrescente de grandeza dentre os acessos: 57>39>90>77>83. Nesse mesmo ensaio, a produção de sementes foi assim distribuída, em escala decrescente de grandeza: 90>57>77>83>39.

Da mesma forma, o acesso 90 se destacou na produção de massa seca, em plantas não alagadas, enquanto o acesso 39 foi o menos eficiente nesse parâmetro (Tabela 3). No entanto, como, sob alagamento do solo, o acesso 90 foi o que apresentou a maior redução percentual na produção de massa seca (Figura 4), seria possível inferir que, em situações crônicas desse estresse, o desempenho agronômico do acesso 90 poderia ser progressivamente diminuído em relação ao acesso 39.

Acesso	Tratamento	Massa seca (g vaso <sup>-1</sup> )
90	Não alagado	51,1 a
57	Não alagado	36,0 b
77	Não alagado	32,1 bc
90	Alagado	30,5 bcd
77	Alagado	27,6 bcd
83	Não alagado	27,6 bcd
57	Alagado	25,9 bcd
83	Alagado	23,5 bcd
39	Não alagado	21,3 cd
39	Alagado	18,4 d

**Tabela 3.** Produção de massa seca da parte aérea<sup>(1)</sup> de acessos de *Arachis pintoi*, cultivados em solo não alagado e alagado, durante 15 dias.

#### Conclusões

Dentre os acessos de *A. pintoi*, o acesso 39 é relativamente mais tolerante ao alagamento do solo, seguido pelo 77 (BRS Mandobi). Os acessos 57 e 83 têm tolerância intermediária, enquanto o 90 é de tolerância relativa mais baixa ao alagamento do solo. O desempenho agronômico teve comportamento inverso ao grau de tolerância, ou seja, o acesso 90, em plantas não alagadas, é o de melhor desempenho e o 39 apresentou o pior desempenho.

### Referências

ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. In: WOOLHOUSE, H. W. (Ed.). **Advances in Botanical Research**. London: Academic Press, 1979. p. 225-332.

ASHRAF, M. A. Waterlogging stress in plants: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 13, p. 1976-1981, 2012.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F. Forage peanut breeding program in Brazil. In: JANK, L.; CHIARI, L.; VALLE, C. B. do; RESENDE, R. M. S. (Ed.). **Forage breeding and biotechnology**. Brasília, DF: Embrapa; Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. p. 77-105.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. de. BRS Mandobi: a new forage peanut cultivar propagated by seeds for the tropics. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 1, n. 1, p. 39-41, 2013. Publicado também nos Anais do 22º INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, Sidney, 2013.

<sup>(</sup>¹)Valores são média (n=3). Médias com letras diferentes são significantemente diferentes entre si (P<0,05, Teste de Duncan).

- BANSAL, R.; SRIVASTAVA, J. P. Effect of waterlogging on photosynthetic and biochemical parameters in pigeon pea. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 62, n. 3, p. 322-327, 2015.
- BANSAL, R.; SHARMA, S.; TRIPATHI, K.; GAYACHARAN; KUMAR, A. Waterlogging tolerance in black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper] is associated with chlorophyll content and membrane integrity. **Indian Journal of Biochemistry & Biophysics**, v. 56, n.1, p. 81-85, 2019.
- BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 313-339, 2008.
- CARVALHO, M. A.; PIZARRO JUNCAL, E. A.; VALLS, J. F. M. Flowering dynamics and seed production of Arachis pintoi and *Arachis repens* in the Brazilian Cerrados. **Tropical Grasslands**, v. 43, p. 139-150, 2009.
- CIOTTI, E. M.; BERG, C. H.; CASTELAN, M. E. Efecto del encharcamiento temporario sobre el rendimiento y la nodulación de *Stylosanthes guianensis* y *Arachis pintoi*. **Pasturas Tropicales**, v. 28, n. 1, p. 52-56, 2006.
- 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. 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. Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 439-447, 2002.
- KUMAR, P.; PAL, M.; JOSHI, R.; SAIRAM, R. K. Yield, growth and physiological responses of mungbean [*Vigna radiata* (L.)Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, n. 2, p. 209-220, 2013.
- 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: <a href="https://bit.ly/2qs5Vkw">https://bit.ly/2qs5Vkw</a>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- MALIK, A. I.; AILEWE, T. I.; ERSKINE, W. Tolerance of three grain legume species to transient waterlogging. **AoB Plants**, v. 7, plv040, 2015. Doi: 10.1093/aobpla/plv040.
- MENSAH, J. K.; OBADONI, B. O.; ERUOTOR, P. G.; ONOME-IRIEGUNA, F. Simulated flooding and drought effects on germination, growth, and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 13, p. 1249-1253, 2006.
- MIQUELONI, D. P. Variabilidade genética em amendoim forrageiro via modelos mistos e análise multivariada. 2018. 161 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Acre, Rio Branco. AC.
- MUTAVA, R. N.; PRINCE, S. J. K.; SYED, N. H.; SONG, L.; VALLIYODAN, B.; CHEN, W.; NGUYEN, H. T. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: A comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 86, p. 109-120, 2015.
- REED, S. T.; D'AMBROSIO, F. R.; LI, Y.; RAO, R. Flooding Influences on Growth and Development of Bush Bean Under Greenhouse Conditions. **Journal of Vegetable Science**, v. 11, n. 2, p. 43-56, 2005. Doi: 10.1300/J484v11n02\_05.

SCHÖFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 31, n.1, p. 7-12, 2001.

SHIMAMURA, S.; YAMAMOTO, R.; NAKAMURA, T.; SHIMADA, S.; KOMATSU, S. Stem hypertrophic lenticels and secondary aerenchyma enable oxygen transport to roots of soybean in flooded soil. **Annals of botany**, v. 106, n. 2, p. 277-284, 2010. Doi: 10.1093/aob/mcg123.

STRIKER, G. G.; COLMER, T. D. Flooding tolerance of forage legumes. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 8, p. 1851-1872, 2017. Doi: 10.1093/jxb/erw239.

van VEEN, H.; MUSTROPH, A.; BARDING, G. A.; VERGEER-van EIJK, M.; WELSCHEN-EVERTMAN, R. A. M.; PEDERSEN, O.; VISSER, E. J. W.; LARIVE, C. K.; PIERIK, R.; BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J.; SASIDHARAN, R. Two Rumex species from contrasting hydrological niches regulate flooding tolerance through distinct mechanisms. **Plant Cell**, v. 25, p. 4691-4707, 2013. Doi: 10.1105/tpc.113.119016.

WHITEMAN, P. C.; SEITLHEKO, M.; SIREGAR, M. E.; CHUDASAMA, A. K.; JAVIER, R. R. Short-term flooding tolerance of seventeen commercial tropical pasture legumes. **Tropical Grasslands**, v. 18, n. 2, p. 91-96, 1984.

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: 10.1093/aob/mcx049.



