

Testes bioquímicos de integridade de membranas na avaliação do vigor de sementes de *Mimosa caesalpinifolia* Benth.

Biochemical tests of membrane integrity on evaluation of vigor of *Mimosa caesalpinifolia* Benth. seeds

Mirella C. S. Avelino¹, Francival C. Felix¹, Katiane R. G. Silva², Fernando S. Araújo³ e Mauro V. Pacheco^{1*}

¹ Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UAECIA/UFRN); Rodovia RN 160, Km 03, Distrito de Jundiá, CEP 59280-000, Cx. Postal 07, Macaíba – RN, Brasil

² Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Centro de Ciências Agrárias – Areia – PB, Brasil

³ Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) – Recife – PE, Brasil

(*E-mail: pachecomv@hotmail.com)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17229>

Recebido/received: 2017.09.05

Aceite/accepted: 2017.10.12

RESUMO

Os testes bioquímicos baseados na integridade de membranas são importantes na verificação do potencial fisiológico de lotes de sementes. Assim, este trabalho teve por objetivo determinar a viabilidade de testes bioquímicos de condutividade elétrica e de lixiviação de potássio na avaliação do vigor de sementes de *Mimosa caesalpinifolia*. No teste de condutividade elétrica utilizaram-se duas amostras de sementes (25 e 50), dois volumes de água deionizada (50 e 75 mL), duas temperaturas (25 e 30 °C) e cinco períodos de embebição (4, 8, 12, 16 e 24-h). Nos testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, cinco lotes de sementes foram embebidos separadamente durante 4 e 8-h à temperatura de 30 °C. Os testes bioquímicos de condutividade elétrica e de lixiviação de potássio mostraram ser eficientes na avaliação do vigor de sementes de *M. caesalpinifolia*, quando realizados com 25 sementes imersas em 50 mL de água deionizada, durante 8-h à temperatura de 30 °C.

Palavras-chave: condutividade elétrica, lixiviação de potássio, qualidade fisiológica, sementes florestais, semiárido.

ABSTRACT

Biochemical tests based on membrane integrity are important in selecting the physiological potential of seed lots. Thus, the objective of this work was to adapt methodologies of biochemical tests of electric conduction and potassium leaching in the evaluation of the vigor of *Mimosa caesalpinifolia* seeds. Two quantity of seeds (25 and 50), two volumes of deionized water (50 and 75 mL), two temperatures (25 and 30 °C) and five soaking periods (4, 8, 12, 16 and 24-h) where used for the validity of electrical conductivity test. The potash leaching test was carried out with five seed lots in the periods of 4 and 8-h of soaking under a temperature of 30 °C. The biochemical tests of electric conduction and potassium leaching were efficient in the evaluation of vigor of *M. caesalpinifolia* seeds, when 25 seeds were immersed in 50 mL of deionized water, during a period of 8-h at 30 °C.

Keywords: electrical conductivity, potassium leaching, physiological quality, forest seeds, semiarid.

INTRODUÇÃO

Mimosa caesalpinifolia Benth. (Fabaceae) é uma espécie florestal nativa das florestas secas encontradas no semiárido brasileiro (Maia, 2004), a qual apresenta importância econômica no

fornecimento de madeira (Pareyn, 2010) para estacas ou para fins energéticos. Além disso, possui potencial em programas de fitorremediação (Cipriani *et al.*, 2013) e necessita de estratégias de preservação para o uso racional de seus recursos (Araújo *et al.*, 2016).

A implantação florestal de *M. caesalpiniiifolia* com finalidade produtiva e/ou ambiental requer o desenvolvimento de tecnologias adequadas de produção, iniciando-se pelo conhecimento da capacidade germinativa da semente (Araújo *et al.*, 2011), de modo a fornecer rapidamente resultados viáveis (Barbieri *et al.*, 2012).

O comércio de sementes utiliza de maneira limitada os testes de germinação que podem superestimar o potencial fisiológico das sementes, uma vez que simulam condições ideais do processo germinativo, e por isso é necessária a utilização de testes de vigor para complementar a avaliação da qualidade fisiológica de sementes (Haesbaert *et al.*, 2017). Os testes bioquímicos de integridade de membranas celulares, designadamente o teste de condutividade elétrica e o teste de lixiviação de potássio, destacam-se na avaliação indireta do potencial fisiológico das sementes, baseado em alterações moleculares associadas ao processo de deterioração (Marcos Filho, 2015).

O teste de condutividade elétrica é eficiente e rápido na determinação da qualidade fisiológica das sementes (Torres *et al.*, 2015), em que o aumento na quantidade de lixiviados na água de embebição (Lima *et al.*, 2015) é proporcional ao nível de deterioração das sementes (Azeredo *et al.*, 2016). Assim, o vigor das sementes está diretamente relacionado com a integridade das membranas celulares (Silva *et al.*, 2014). Contudo, o teste pode ser influenciado pelo volume da água de imersão, teor de água das sementes, tempo e temperatura de embebição (Pereira *et al.*, 2015). Por isso, é necessária a sua padronização e adaptação a cada espécie, de modo que seja de fácil reprodutibilidade e permita resultados confiáveis.

Durante a hidratação, as sementes libertam monossacarídeos, ácidos gordos e iões (Araldi e Coelho, 2015), como potássio, cálcio e magnésio. No entanto, o potássio é libertado em maiores quantidades (Zucareli *et al.*, 2013) e está relacionado com a regulação do potencial osmótico e ativação de enzimas nas células da semente. Por isso, a determinação desse ião pelo teste de lixiviação de potássio é rápida e tem se revelado adequada na avaliação da qualidade fisiológica de sementes (Barbieri *et al.*, 2012).

O objetivo deste estudo consistiu em adequar metodologias de testes bioquímicos de integridade de membranas – condutividade elétrica e lixiviação de potássio – na avaliação do vigor de sementes de *M. caesalpiniiifolia*.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das sementes

Os frutos secos de *M. caesalpiniiifolia* foram manualmente colhidos em árvores matrizes localizadas na Área de Experimentação Florestal da Unidade Académica Especializada em Ciências Agrárias/UAECIA (05°53'7" S e 35°21'38" W), em 2013. De seguida, as sementes foram limpas e distribuídas por cinco lotes, os quais foram mantidos em ambiente de laboratório (27 ± 3 °C; 57% de U.R. do ar) até a realização dos ensaios.

Testes bioquímicos de integridade de membranas

Inicialmente, determinou-se a curva de embebição das sementes com uma subamostra de todos os lotes com o objetivo de definir os intervalos das leituras de condutividade elétrica, baseado no padrão trifásico de absorção de água para sementes ortodoxas (Bewley *et al.*, 2013). Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes cada, as quais foram escarificadas por meio do desponte na região oposta ao micrópilo (Bruno *et al.*, 2001), distribuídas em três folhas de papel toalha (tipo Germitest®), organizados em sistema de rolos umedecidos com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel (Brasil, 2013). Os rolos de papel foram acondicionados em germinador do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) regulado à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 8-h. O padrão de absorção de água foi obtido por meio da pesagem das sementes em balança analítica de precisão (0,001 g) durante os períodos de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 e 72-h de embebição em água destilada. Após a obtenção dos resultados da curva de embebição, procedeu-se à adaptação do teste de condutividade elétrica numa segunda subamostra de sementes. Utilizou-se o arranjo fatorial 5x2x2x2: cinco períodos de imersão (4, 8, 12, 16 e 24-h); duas quantidades de sementes (quatro repetições de

25 e 50 sementes cada) escarificadas por meio do desponte e pesadas em balança de precisão (0,001 g); dois volumes de água deionizada (50 e 75 mL) para embebição; e duas temperaturas (25 e 30 °C) de incubação em germinador. Após cada período de embebição, fez-se a leitura da água por meio de condutivímetro de bancada (Tecnal® – TEC-4MP), e o cálculo de condutividade elétrica foi feita pela subtração das leituras da amostra e da água deionizada ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) dividida pelo produto do volume de água deionizada (mL) e massa de sementes da amostra (g), cujos resultados foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente.

A partir dos resultados do teste de condutividade elétrica, procedeu-se à adaptação do teste de lixiviação de potássio, em que foram utilizados dois períodos de embebição (4 e 8-h). Assim, quatro repetições de 25 sementes de cada lote foram escarificadas por meio do desponte (Bruno *et al.*, 2001) e pesadas em balança de precisão (0,001 g). Em seguida, foram imersas em 50 mL de água deionizada e mantidas em germinador regulado à temperatura de 30 °C. As leituras de potássio foram realizadas em fotômetro de chama (Micronal® – B462). O cálculo da lixiviação de K^+ foi feita pela multiplicação da concentração de K^+ (mg L^{-1} de K^+) pelo volume de água deionizada (mL) e dividido pela massa de sementes da amostra (g), cujos resultados foram expressos em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente.

Qualidade fisiológica das sementes de cinco lotes

Antes da avaliação da qualidade fisiológica das sementes de cada um dos cinco lotes utilizados nesta etapa, realizou-se a determinação do teor de água das sementes pelo método da estufa a 105 ± 3 °C durante 24-h (Brasil, 2009), utilizando-se duas repetições de 50 sementes por lote, cujos resultados foram expressos em porcentagem.

Em seguida, foram avaliadas as seguintes variáveis: germinação (%) – quatro repetições de 25 sementes de cada lote foram semeadas entre três folhas de papel toalha (tipo Germitest®), umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco (Brasil, 2013), acondicionados em sacos plásticos transparentes e mantidos em germinador regulado à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12-h. No sétimo dia

após a sementeira, contabilizou-se o número plântulas normais (Brasil, 2013), cujos resultados foram expressos em porcentagem; primeira contagem de germinação – realizado conjuntamente com o teste de germinação, contabilizando-se o número de plântulas normais formadas ao terceiro dia após a sementeira, sendo os resultados expressos em porcentagem; índice de velocidade de germinação (IVG) – realizado conjuntamente ao teste de germinação, no qual foi contabilizado diariamente o número de sementes germinadas e calculado conforme fórmula proposta por Maguire (1962); comprimento de plântulas – no final do teste de germinação mediu-se com régua graduada em milímetros o comprimento total (desde o ápice da raiz principal até a gema apical da parte aérea) das plântulas normais, obtendo-se a média calculada pela soma do comprimento dividido pelo número de plântulas normais, cujos resultados foram expressos em $\text{cm}\cdot\text{plântula}^{-1}$; massa seca de plântulas – ao final do teste de comprimento de plântulas, os cotilédones foram retirados, e as plântulas foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar regulada a 65 °C, até atingirem peso constante, utilizando-se balança de precisão (0,001 g). O resultado foi calculado pela soma da massa seca dividida pelo número de plântulas normais e expresso em $\text{mg}\cdot\text{plântula}^{-1}$; emergência de plântulas – a sementeira foi realizada em canteiro contendo areia, a pleno sol, no qual foram abertos sulcos com profundidade média de 2,0 cm, em que foram depositadas as sementes. A umidade do canteiro foi mantida por meio de regas diárias. Ao 12º dia após a sementeira, obteve-se a porcentagem de plântulas normais emersas, cujos resultados foram expressos em porcentagem.

Por fim, foram realizadas as validações dos testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio para as sementes dos cinco lotes.

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado para todas as variáveis, exceto para o teste de emergência de plântulas, o qual foi em blocos casualizados, com quatro repetições de 25 sementes cada. Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR (Ferreira, 2008). Para avaliar os valores de condutividade elétrica em função do tempo de embebição, procedeu-se à análise da regressão, adotando-se as equações com significância estatística a 5% de pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de *M. caesalpinifolia* apresentaram teor de água de 11,3% na ocasião de realização do ensaio, característica importante visto que sementes com teores de água abaixo de 10% estão susceptíveis aos danos por embebição (Costa *et al.*, 2008). Observou-se a existência de padrão trifásico de absorção de água nas sementes de *M. caesalpinifolia* (Figura 1), sendo a Fase I caracterizada pelo rápido ganho de 28% de umidade nas primeiras 12-h de embebição, cuja taxa de absorção de água foi de 2,31% de umidade.h⁻¹, seguido de 24-h de redução na absorção de água (Fase II), com taxa de reidratação reduzida para menos da metade da Fase I (1,04% de umidade.h⁻¹) e emissão da raiz primária (79%) após 36-h de hidratação (Fase III).

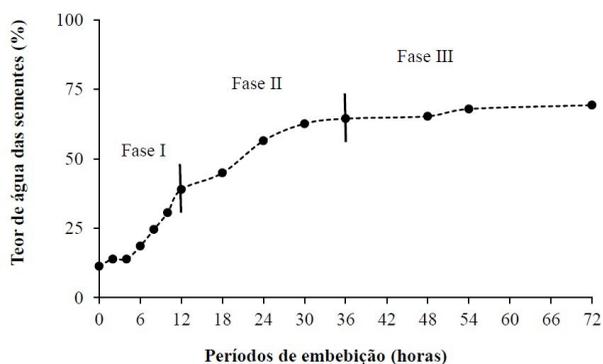


Figura 1 - Padrão trifásico de absorção de água em sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.

O incremento de água nas sementes de *M. caesalpinifolia* nas primeiras 12-h de embebição constitui a fase mais curta de hidratação (Fase I). Nesta fase, a rápida absorção de água deve-se às diferenças de potencial hídrico da semente e da água disponível; caracterizado como um processo físico independente da atividade metabólica, ocorrendo em sementes viáveis e inviáveis (Bewley *et al.*, 2013).

A Fase II é conceitualmente caracterizada pela redução da velocidade de absorção de água devido à resistência física proporcionada pelas paredes celulares (Castro *et al.*, 2004) e mobilização de reservas para os tecidos meristemáticos da semente (Meira *et al.*, 2016), enquanto que a Fase III se caracteriza pela retomada do crescimento do eixo embrionário e reabsorção de água, culminando com a protrusão da raiz primária (Bewley *et al.*, 2013).

A importância da curva de embebição nos estudos de determinação do período de absorção de água pelas sementes é um importante fator na adaptação do teste de condutividade elétrica (Zuchi *et al.*, 2012). Assim, o período inicial para a realização da leitura do teste de condutividade elétrica nas sementes de *M. caesalpinifolia* foi definido a partir da curva de embebição, determinando-se os intervalos de leitura da condutividade elétrica de 4 a 24-h.

Na condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição das sementes verificou-se um efeito significativo ($p \leq 0,01$) apenas para os fatores período de embebição (PE), temperatura (T), volume (V), e interação PE x V e V x NS (número de sementes) (Quadro 1).

Quadro 1 - Resumo da análise de variância da leitura da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição das sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. provenientes de diferentes períodos de embebição (PE), temperaturas (T), volumes de água (V) e número de sementes (NS)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Período de Embebição (PE)	4	54.281,32 **
Temperatura (T)	1	13.830,96 **
Volume (V)	1	72.071,61 **
Número de Sementes (NS)	1	6,97 ns
PE x T	4	62,19 ns
PE x V	4	2.085,99 **
PE x NS	4	27,17 ns
T x V	1	12,21 ns
T x NS	1	522,01 ns
V x NS	1	1.408,97 **
PE x T x V	4	69,38 ns
PE x T x NS	4	6,69 ns
PE x V x NS	4	17,05 ns
T x V x NS	1	378,23 ns
PE x T x V x NS	4	3,82 ns
Erro	117	185,34
Média	130,41	
CV (%)	10,4	

ns = não significativo; ** significativo pelo teste F (valor de $p = 0,01$); CV = coeficiente de variação.

O teste de condutividade elétrica avalia a concentração de eletrólitos libertados pelas sementes durante a embebição em água. Desse modo, a redução e a perda da qualidade fisiológica estão diretamente relacionadas com o aumento da concentração de eletrólitos libertados pelas sementes durante a hidratação (Moncaleano-Escandon *et al.*, 2013). Assim, a lixiviação de exsudatos das sementes pode ser influenciada pelo grau de deterioração, injúrias no tegumento, estágio de desenvolvimento no momento da colheita e danos causados pela velocidade, temperatura e tempo de embebição (González *et al.*, 2011). A determinação da temperatura ideal de embebição das sementes é importante no teste de condutividade elétrica, pois possibilita a diferenciação mais precisa de lotes de sementes, em menor período de tempo (Marques *et al.*, 2002). Neste estudo, a temperatura de 30 °C proporcionou valores superiores de condutividade elétrica durante a embebição (Quadro 2), devido à elevação da taxa metabólica das sementes quando submetidas a altas temperaturas de hidratação, o que eleva a quantidade e a velocidade de liberação de eletrólitos para o meio externo (Marcos Filho, 2015).

Quadro 2 - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição das sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. em diferentes temperaturas de embebição

Temperatura (T °C)	Médias
25	121,1 b
30	139,7 a

* Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste F.

Em relação ao volume de água usado, maiores valores de condutividade elétrica foram observados no menor volume de água (50 mL), o qual proporcionou maior concentração de eletrólitos comparado ao volume de 75 mL, independentemente do número de sementes utilizadas (Quadro 3). Resultados semelhantes foram obtidos em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth (Dalanhol *et al.*, 2014), *Pityrocarpa moniliformis* Benth (Pereira *et al.*, 2015) e *Schinus molle* L. (Delazeri *et al.*, 2016), nas quais maiores concentrações de eletrólitos foram observados também nos menores volumes de água avaliados.

Quadro 3 - Interação entre volume (V) e número de sementes (NS) para leitura da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição em sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth

Volumes (V)	Número de Sementes (NS)	
	25	50
50 mL	148,8 aA	154,3 aA
75 mL	112,3 bA	106,0 bA

* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste F.

Para os volumes de água utilizados à temperatura de 30 °C (Figura 2) houve tendência de desempenho polinomial crescente da condutividade elétrica com o aumento do período de embebição, sendo este acréscimo mais acentuado no volume de água de 50 mL, no qual houve maior concentração de lixiviados, quando comparado com as sementes imersas em 75 mL.

Nas combinações estudadas, para as sementes de *M. caesalpiniaefolia*, constataram-se valores maiores nas leituras para condução do teste de condutividade elétrica utilizando-se 25 sementes imersas em 50 mL de água no período de 8-h de embebição (Quadro 3 e Figura 2). Um período reduzido de imersão das sementes é vantajoso para a indústria de sementes que nos seus programas de controle de qualidade procuram informações sobre o vigor dos lotes em período de tempo relativamente curto, como oito ou 16-h (Milani *et al.*, 2012).

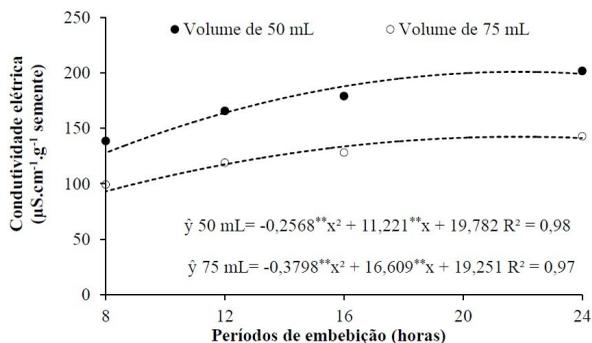


Figura 2 - Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição em sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. com diferentes volumes (50 e 75 mL) em função do tempo de embebição à temperatura de 30 °C.

Em relação à caracterização fisiológica inicial dos lotes de sementes, verificou-se através da análise de variância que a porcentagem de germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação não apresentaram diferenças significativas entre os lotes de sementes de *M. caesalpinifolia* (Quadro 4), evidenciando que aqueles testes fisiológicos não possuem precisão na detecção de diferenças no vigor para esta espécie. Esses resultados reforçam a necessidade da complementação

as pequenas diferenças na qualidade fisiológica das sementes. Assim, contrastes no desempenho de lotes com germinação de sementes semelhante estão associadas ao fato de que os primeiros sinais da deterioração ocorrem antes da perda da viabilidade (Barbieri *et al.*, 2012). Neste contexto, justifica-se a necessidade de realização de testes de vigor para avaliar o potencial fisiológico das sementes e complementar os resultados do teste de germinação.

Quadro 4 - Resumo da análise de variância para a emergência (E), germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento (CP) e massa seca (MS) de plântulas oriundas de diferentes lotes em sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth

Fonte de variação	Quadrado médio							
	GL	E	GL	G	PC	IVG	CP	MS
Tratamento	4	154,80**	4	18,80 ^{ns}	18,80 ^{ns}	0,51 ^{ns}	5,12**	0,01**
Bloco	3	0,71	-	-	-	-	-	-
Resíduo	2	32,26	15	19,46	19,46	0,27	0,43	0,00
CV (%)		6,5		4,7	4,7	4,5	4,9	5,6

^{ns} não significativo, ** significativo a 1% de probabilidade, CV = coeficiente de variação.

dessas informações por meio de outros testes de vigor (Barbieri *et al.*, 2012) que sejam mais sensíveis.

Para as variáveis emergência, comprimento e massa seca de plântulas, os resultados indicaram diferenças significativas (Quadro 4). Estes resultados são importantes, uma vez que os testes de vigor são realizados com objetivo de verificar o potencial de emergência de plântulas em condições desfavoráveis de campo.

O teor de água médio das sementes foi de $10,6 \pm 1,7\%$ nos cinco lotes (Quadro 5). Para espécies cultivadas e domesticadas a amplitude aceitável é de um a dois pontos percentuais, sendo teores de água abaixo de 10% os mais susceptíveis de causar danos por embebição (Marcos Filho, 1999). No caso de espécies florestais nativas, as sementes são mais adaptadas e consequentemente mais resistentes às variações ambientais, não sendo possível determinar um limite de teor de água para sementes destas espécies.

Na análise da germinação das sementes de *M. caesalpinifolia* não foram observadas diferenças entre os lotes (Quadro 5). Isso pode ser explicado pelas condições ideais de realização do teste de germinação, o qual nem sempre permite detectar

Observou-se variação entre alguns testes quanto à classificação dos lotes em diferentes níveis de qualidade (Quadro 5). O teste mais eficiente na diferenciação dos lotes foi o da emergência de plântulas em campo que ordenou os lotes de sementes em dois níveis. Os testes de comprimento e massa seca de plântula ordenaram os lotes de sementes em três níveis de vigor. Os resultados de emergência indicaram os lotes 1 e 4 como os de maior vigor, seguido pelos lotes 2, 3 e 5, enquanto que os testes de comprimento e massa seca de

Quadro 5 - Caracterização fisiológica de diferentes lotes de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. para teor de água (TA), emergência (E), germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento (CP) e massa seca (MS) de plântulas

Lotes	TA	G	E	PC	IVG	CP	MS
	(%)					(cm. plântula ⁻¹)	(mg. plântula ⁻¹)
1	12,3	93 a	95 a	93 a	11,3 a	11,9 c	9,3 c
2	11,2	93 a	83 b	93 a	11,4 a	12,9 b	9,5 bc
3	9,3	97 a	82 b	97 a	12,1 a	14,4 a	11,2 a
4	11,3	96 a	94 a	96 a	11,9 a	14,6 a	11,0 a
5	8,9	92 a	85 b	92 a	11,50 a	13,0 b	10,5 ab

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

plântulas mostraram os lotes 3 e 4 como os de alto vigor, seguido pelos lotes 2 e 5 como intermediários, e o lote 1 foi classificado como de baixo vigor (Quadro 5).

Os resultados obtidos com os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, realizados nos períodos de 4 e 8-h, indicam interação com os cinco lotes de sementes de *M. caesalpiniaefolia* (Quadro 6).

Quadro 6 - Resumo da análise de variância para os períodos avaliados (4 e 8 h) nos testes de condutividade elétrica (CE) ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente) e de lixiviação de potássio (K^+) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{K}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente) em diferentes lotes sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.

Fonte de variação	GL	CE	K^+
		Quadrado médio	
Período (1)	1	77397,97 **	71,32**
Período (2)	1	19365,05 **	35,28**
Lotes x Períodos	4	1.752,83 **	4,83**
Tratamento	9	17985,50 **	25,76**
Resíduo	30	192,24	0,84
CV (%)		9,9	19,9

^{ns} não significativo, ^{**} significativo a 1% de probabilidade, GL = Grau de liberdade, CV = coeficiente de variação.

Os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio foram sensíveis na detecção de pequenas diferenças fisiológicas entre os diferentes lotes de sementes, pois ambos os testes se baseiam na integridade do sistema de membranas. Em síntese, as membranas das sementes quando submetidas a uma embebição direta passam do estado de gel para o estado cristalino líquido (Castro *et al.*, 2004), porém, quando esta passagem ocorre rapidamente não há tempo hábil para que as membranas alterem a sua conformação estrutural, situação que acarreta danos celulares e lixiviação de eletrólitos, processo conhecido como dano por embebição (Silva e Villela, 2011).

Os testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio ordenaram os lotes em diferentes níveis de vigor nos períodos de 4 e 8-h (Quadro 7). O teste de lixiviação de potássio separou os lotes de sementes em três níveis de vigor, enquanto o teste de condutividade elétrica os diferenciou em quatro níveis, dessa forma, o teste de condutividade elétrica

mostrou-se mais eficiente do que o de lixiviação de potássio independentemente do período de imersão em água.

Ao comparar os dois períodos avaliados no teste de condutividade elétrica, verificou-se que o período de 8-h foi mais rigoroso na detecção da qualidade fisiológica, pois apresentou maior liberação de exsudatos para o meio quando comparado com o período de 4-h. Verificou-se que o lote 1 apresentou qualidade fisiológica inferior aos restantes, quer pelo teste de condutividade elétrica quer pelo teste de lixiviação de potássio para ambos os períodos adotados (Quadro 7). Porém, quando comparado ao teste de emergência (Quadro 5) verifica-se resultado contrastante, visto que para este teste, esse mesmo lote é considerado de alto vigor. Portanto, o vigor é a primeira manifestação fisiológica que a semente perde, a qual se inicia pela desestruturação das membranas celulares, sendo isso explicado pela diferença de contato entre a semente e a água de embebição (Marcos Filho, 2015). No solo, o contato é consideravelmente mais lento quando comparado à hidratação direta em água, e como a leitura da condutividade elétrica é realizada diretamente na água de embebição, esta detecta com mais eficiência o início da deterioração das membranas.

Quadro 7 - Condutividade elétrica (CE) ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) e lixiviação de potássio (K^+) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{K}^+\cdot\text{g}^{-1}$) da água de embebição de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. em função da interação entre períodos (4 e 8-h) e lotes (1, 2, 3, 4 e 5)

Lotes	CE		K^+	
	4-h	8-h	4-h	8-h
	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente		$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de $\text{K}^+\cdot\text{g}^{-1}$ de semente	
1	183,1 bD	252,4 aD	7,6 aC	7,8 aC
2	96,4 bCB	191,3 aC	2,2 bBA	6,3 aBC
3	116,7 bC	253,1 aD	3,2 bB	7,1 aC
4	81,7 bBA	158,2 aB	2,1 bBA	4,9 aAB
5	64,1 bA	127,0 aA	1,0 bA	3,2 aA

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio obtidos após 8-h de embebição (Quadro 7) permitiram agrupar os lotes de sementes com alto, médio e baixo potencial fisiológico, constatando-se

alta associação entre ambos os testes. Desse modo, o lote 5, com médias mais baixas de condutividade elétrica e liberação de potássio, foi considerado de alta qualidade fisiológica, o lote 4 foi incluído em um nível intermediário de vigor, e os lotes 1, 2 e 3, que obtiveram maiores médias dessas variáveis, foram considerados como de baixo potencial fisiológico para ambos os testes bioquímicos de vigor.

O uso do teste de condutividade elétrica também apresentou resultados satisfatórios na avaliação do potencial fisiológico de sementes de outros táxones vegetais (Ataíde *et al.*, 2012; Dalanhól *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2015; Delazeri *et al.*, 2016).

CONCLUSÕES

Os testes bioquímicos de integridade de membranas (condutividade elétrica e lixiviação de potássio) mostraram ser eficientes na avaliação do vigor de sementes de *M. caesalpiniaefolia*, quando realizados com 25 sementes imersas em 50 mL de água deionizada, durante 8-h à temperatura de 30 °C.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio e concessão de bolsas ao primeiro, segundo e terceiro autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araldi, C.G. & Coelho, C.M. (2015) – pH do exsudato na avaliação da viabilidade de sementes de *Araucaria angustifolia*. *Floresta e Ambiente*, vol. 22, n. 3, p. 426-433. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082314>
- Araújo, R.F.; Zonta, J.B.; Araújo, E.F.; Danzeles, S.M.L. & Costa, G.M. (2011) – Teste de condutividade elétrica para sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). *Idesia*, vol. 29, n. 2, p. 79-86.
- Araújo, F.S.; Pacheco, M.V.; Vieira, F.A.; Ferrari, C.S.; Felix, F.C. & Chagas, K.P.T. (2016) – ISSR molecular markers for the study of the genetic diversity of *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. *Idesia*, vol. 34, n. 3, p. 45-50. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300007>
- Ataíde, G.M.; Flôres, A.V.; Borges, E.E.L. & Resende, R.T. (2012) – Adequação da metodologia do teste de condutividade elétrica para sementes de *Pterogyne nitens* Tull. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 10, n. 4, p. 635-640. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1688>
- Azeredo, G.A.; Paula, R.C.P. & Valeri, S.V. (2016) – Electrical conductivity in *Piptadenia moniliformis* Benth. seed lots classified by size and color. *Revista Árvore*, vol. 40, n. 5, p. 855-866. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000500009>
- Barbieri, A.P.P.; Menezes, N.L.; Conceição, G.M. & Tunes, L.M. (2012) – Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 34, n. 1, p. 117-124. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222012000100015>
- Bewley, J.D.; Bradford, K.J.; Hilhorst, H.W.M. & Nonogaki, H. (2013) – *Seeds – physiology of development, germination and dormancy*. Springer: New York, ed.3, 392 p.
- Brasil (2009) – *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 399 p.
- Brasil (2013) – *Instruções para a análise de sementes de espécies florestais*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 98 p.
- Bruno, R.L.A.; Alves, E.U.; Oliveira, A.P. & Paula, R.C. (2001) – Tratamentos pré-germinativos para superar a dormência de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 23, n. 2, p. 136-143. <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v23n2p136-143>
- Castro, R.D.; Bradford, K.J. & Hilhorst, H.W.M. (2004) – Embebição e reativação do metabolismo. In: Ferreira, A.G. & Borghetti, F. (Eds.) *Germinação – do básico ao aplicado*. Porto Alegre: ARTMED, p. 149-162.
- Costa, C.J.; Villela, F.A.; Bertonecello, M.R.; Tillmann, M.A.A. & Menezes, N.L. (2008) – Pré-hidratação de sementes de ervilha e sua interferência na avaliação do potencial fisiológico. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 30, n. 1, p. 198-207. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222008000100025>
- Cipriani, H.N.; Dias, L.E.; Costa, M.D.; Campos, N.V.; Azeredo, A.A.; Gomes, R.J.; Fialho, I.F. & Amezquita, S.P.M. (2013) – Arsenic toxicity in *Acacia mangium* Willd. and *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. seedlings. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 37, n. 5, p. 1423-1430. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500031>

- Dalanhol, S.J.; Rezende, E.H.; Abreu, D.C.A. & Nogueira, A.C. (2014) – Teste de condutividade elétrica em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. *Floresta e Ambiente*, vol. 21, n. 1, p. 69-77. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.013>
- Delazeri, P.; Garlet, J. & Souza, G.F. (2016) – Teste de condutividade elétrica em lotes de sementes de *Schinus molle* L. *Floresta e Ambiente*, vol. 23, n. 3, p. 413-417. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.142615>
- Ferreira, D. F. (2008) – Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, vol. 6, p. 36-41.
- González, J.L.S.; Valeri, S.V. & Paula, R. C. (2011) – Qualidade fisiológica de sementes de diferentes árvores matrizes de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S. Johnson. *Scientia Forestalis*, vol. 39, n. 90, p. 171-181.
- Haesbaert, F.M.; Lopes, S.J.; Mertz, L.M.; Lúcio, A.D.C. & Hulth, C. (2017) – Tamanho de amostra para determinação da condutividade elétrica individual de sementes de girassol. *Bragantia*, vol. 76, n. 1, p. 54-61. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.389>
- Lima, J.J.P.; Freitas, M.N.; Guimarães, R.M.; Vieira, A.R. & Ávila, M.A.B. (2015) – Accelerated aging and electrical conductivity tests in crambe seeds. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 39, n. 1, p. 7-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542015000100001>
- Maia, G. N. (2004) – *Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades*. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 413 p.
- Maguire, J. D. (1962) – Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, vol. 2, n. 2, p. 176177. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Marcos Filho, J. (1999) – Testes de vigor: importância e utilização. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. & França Neto, J.B. (Eds.) – *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, p. 1-21.
- Marcos Filho, J. (2015) – *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2 ed. 660 p.
- Marques, M.A.; Paula, R. C. & Rodrigues, T. J. D. (2002) – Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex. Benth.). *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 24, n. 1, p. 271-278. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222002000100038>
- Milani, M.; Menezes, N.L. & Lopes, S.J. (2012) – Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de canola. *Revista Ceres*, vol. 59, n. 3, p. 374-379. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300012>
- Moncaleano-Escandon, J.; Silva, B.C.F.; Silva, S.R.S.; Granjab, J.A.A.; Alvares, M.C.J.L. & Pompelli, M.F. (2013) – Germination responses of *Jatropha curcas* L. seeds to storage and aging. *Industrial Crops and Products*, vol. 44, p. 684-690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.035>
- Pareyn, F.G.C. (2010) – A importância da produção não madeireira na Caatinga. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.; Cestaro, L.A. & Kageyama, P.Y. (Orgs.) *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 368 p.
- Pereira, K.T.O.; Aquino, G.S.M.; Alves, T.R.C.; Benedito, C.P. & Torres, S.B. (2015) – Electrical conductivity test in *Piptadenia moniliformis* Benth. seeds. *Journal of Seed Science*, vol. 37, n. 4, p. 199-205. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n4152357>
- Silva, K.R.G. & Villela, F.A. (2011) – Pré-hidratação e avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 33, n. 2, p. 331-345. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222011000200016>
- Silva, V.N.; Zambiasi, C.A.; Tillmann, M.A.A.; Menezes, N.L. & Villela, F.A. (2014) – Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 37, n. 2, p. 206-213.
- Torres, S.B.; Paiva, E.P.; Almeida, J.P.N.; Benedito, C.P. & Carvalho, S.M.C.C. (2015) – Teste de condutividade elétrica na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de coentro. *Revista Ciência Agrônômica*, vol. 46, n. 3, p. 622-629. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150046>
- Zucareli, C.; Brzezinski, C.R.; Abati, J.; Henning, F.A.; Ramos Junior, E.U. & Nakagawa, J. (2013) – Lixiviação de íons potássio, cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce. *Informativo ABRATES*, vol. 23, n. 3, p. 56-60.
- Zuchi, J.; Panozzo, L.E.; Heberle, E. & Araújo, E.F. (2012) – Curva de embebição e condutividade elétrica de sementes de mamona classificadas por tamanho. *Revista Brasileira de Sementes*. vol. 34, n. 3, p. 504-509. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222012000300019>