

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

HANNAH BRAZ

**MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS À
ESTÍMULO HORMONAL E PERTURBAÇÃO MECÂNICA**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2019**

HANNAH BRAZ

**MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS À
ESTÍMULO HORMONAL E PERTURBAÇÃO MECÂNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi

Coorientadora: Prof^a Dra. Marlene de Matos Malavasi

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

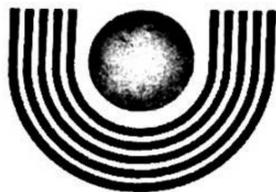
Braz, Hannah

Morfofisiologia de mudas de espécies lenhosas submetidas à estímulo hormonal e perturbação mecânica / Hannah Braz; orientador(a), Ubirajara Contro Malavasi; coorientador(a), Marlene Matos Malavasi, 2019.

51 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

1. . I. Contro Malavasi, Ubirajara. II. Matos Malavasi, Marlene. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

HANNAH BRAZ

Morfo-fisiologia em mudas de espécies lenhosas submetidas à estímulo hormonal e perturbação mecânica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Ubirajara Contro Malavasi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Daniele Guarienti Rorato

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Faculdade Educacional de Medianeira (FAC.ED.MED)

Marechal Cândido Rondon, 30 de julho de 2019

À fonte que me inspira, me incentiva, e me encoraja, minha mãe, Elizabeth Braz.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, proteção diária, pelo dom do conhecimento.

Aos ensinamentos e valores deixados pelo meu pai, Francisco Antônio Braz, que mesmo distante, está sempre presente em meu coração.

À minha amada mãe, Elizabeth Braz, seu exemplo de força e determinação diariamente me motiva, e graças a seu constante amparo e incentivo realizo este sonho.

Aos meus queridos irmãos, Mariana e Felipe Braz, e ao meu companheiro, Marcelo Drehmer, por todo o suporte prestado à minha filha quando precisei me ausentar, por todo estímulo, amor, carinho e compreensão.

À minha filha, Elisa, a razão e o sentido de tudo.

Às colegas, Ana Ristau, Soraia Fortado, Deise Cadorin e Eunice Lima, que contribuíram demasiada e efetivamente na condução do trabalho, e principalmente pela amizade cultivada.

Gratidão imensa ao professor orientador Dr. Ubirajara Contro Malavasi e à coorientadora Marlene Matos Malavasi, pela oportunidade concedida, por toda instrução e ensinamentos desmedidos compartilhados com paciência e excelência.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, especialmente ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Agronomia (PPGA) pela realização do curso, e à todo o corpo docente, pelo conhecimento transmitido em sala de aula.

Ao Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais, e à Neusa Francisca Michelin Herzog, por todo auxílio e suporte oferecido, os quais foram essenciais durante a execução deste trabalho.

À Itaipu Binacional, pela disponibilização das mudas de *I. sessilis* e *N. grandiflora*.

“A persistência é o caminho do êxito”

(Charles Chaplin)

RESUMO

BRAZ, Hannah, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2019. **Morfofisiologia de mudas de espécies lenhosas submetidas à estímulo hormonal e perturbação mecânica.** Orientador: Prof, Dr. Ubirajara Contro Malavasi. Coorientadora: Profa. Dra. Marlene de Matos Malavasi.

Estímulos químicos e mecânicos promovem alterações morfológicas, que podem melhorar o desempenho no campo. Além disso, a praticidade e a possibilidade da utilização posterior das amostras para determinar o teor de umidade do lote fundamenta a investigação da confiabilidade dos medidores resistivos, em substituição ao método tradicional. O estudo objetivou avaliar as características morfofisiológicas de mudas lenhosas submetidas à aplicação de metil jasmonato e flexões caulinares durante o déficit hídrico e, ainda, comparar metodologia destrutiva e não-destrutiva na quantificação do teor de água no caule. Mudas de *Inga sessilis* e *Nectandra grandiflora* foram submetidas a 20 flexões diárias, pulverização com $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato, e um tratamento controle durante oito semanas. Posteriormente, a determinação dos aspectos morfofisiológicos e a umidade com aparelho resistivo (não-destrutivo ou alternativo) e por meio do método tradicional (destrutivo ou gravimétrico) foram analisados quinzenalmente sob déficit hídrico durante um mês. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com sete repetições de três mudas. Para *I. sessilis*, ambos métodos indicaram menor umidade nas mudas flexionadas no tempo 0 de avaliação. Em quinze dias, ambos apontaram semelhanças entre os tratamentos. Aos trinta dias, a menor umidade foi observada no controle por ambas metodologias. Para *N. grandiflora*, o método destrutivo não diferenciou os tratamentos ao 0 dia, e o alternativo mostrou menor umidade para as flexões caulinares, não diferindo do jasmonato. Aos quinze dias, os tratamentos não diferiram entre si, por ambas, e aos trinta, o destrutivo indicou maior umidade para as mudas flexionadas, sendo que os tratamentos não diferiram entre si pelo método alternativo. Em relação às características morfofisiológicas para *N. grandiflora*, flexões caulinares externaram menor emissão de raízes, e, quando submetidas ao déficit hídrico, reduziram a área foliar, massa seca foliar e incremento em altura, até o final do período avaliado. Para *I. sessilis*, no tempo 0 e ao 15º dia, as flexões caulinares externaram menor massa seca de folhas em relação ao jasmonato, no entanto ambos não diferiram do controle. Ao 15º, a menor área foliar foi observada nas mudas tratadas com flexões caulinares, bem como a menor perda de eletrólitos do tecido radicular. Ao 30º dia, ambos tratamentos rustificativos demonstram menor área foliar e massa seca de folhas, e o jasmonato externou menor massa seca do caule e de raiz em relação ao tratamento controle. Não foi constatada uma relação que assegure a veracidade nos resultados obtidos pelo método não-destrutivo, impossibilitando a substituição do método gravimétrico para ambas espécies avaliadas.

Palavras-chave: Quantificação de água em caule. *Nectandra grandiflora*. *Inga sessilis*. Mudas rustificadas.

ABSTRACT

BRAZ, Hannah, Western Paraná State University, July 2019. **Morphophysiology of seedlings of woody species submitted to hormonal stimulation and mechanical disturbance.** Advisor: Ubirajara Contro Malavasi. Co-advisor: Marlene de Matos Malavasi.

Chemical and mechanical stimuli promote morphological alterations, which can improve performance in the field. Moreover, the practicality and the possibility of posterior use of the material used as samples to determine moisture content of the lot bases the investigation of the reliability of the resistive meters, to replace the traditional method. This study aimed to compare destructive and non-destructive methodology in the quantification of the water content in stems of woody species rustified with methyl jasmonate and stem bending, as well as to evaluate the morpho-physiological characteristics during water deficit. Seedlings of *Inga sessilis* and *Nectandra grandiflora* were submitted to 20 repetitions of stem bending, pulverization with 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of methyl jasmonate, and a control treatment for eight weeks. Subsequently, morphologic aspects were analyzed fortnightly under water deficit for one month, as well as moisture, with resistive apparatus and through gravimetric method. The experimental design was completely randomized, with seven replications of three seedlings. For *I. sessilis*, both methods indicated lower moisture in the flexed seedlings, in the evaluation at time zero. In fifteen days, both showed similarities between treatments. At 30 days, the lowest moisture levels were observed in the control by both methodologies. For *N. grandiflora*, the destructive method did not differentiate the treatments at 0 days, and the alternative method presented lower moisture for the stem flexes, not differing from jasmonate. At fifteen days, the treatments did not differ between each other, for both and, at thirty days, the destructive method indicated higher moisture for the flexed seedlings, and the treatments did not differ by the alternative method. In relation to the morpho-physiological characteristics, for *N. grandiflora*, stem bending yielded lower root emission, and when subjected to water deficit, presented reduced leaf area, leaf dry mass, and increment in height until the end of the period evaluated. For *I. sessilis*, at time 0 and on the 15th day, the stem bending resulted in lower leaf dry mass in relation to jasmonate; however, neither one differed from the control. At the 15th day, the smallest leaf area was observed in seedlings treated with stem flexes, as well as the lowest loss of electrolytes in the root tissue. At 30th day, both hardening treatments showed lower leaf area and leaf dry mass, and jasmonate showed lower stem and root dry mass in relation to the control treatment. It was not found any relationship that could ensure the veracity in the results yielded by the non-destructive method, disabling the substitution of the gravimetric method for both species evaluated.

Keywords: Stem moisture content. *Nectandra grandiflora*. *Inga sessilis*. Hardened seedlings.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1. Composição da solução nutritiva para adubação das mudas.	21
Tabela 2. Potencial de regeneração da raiz (PRR), e área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF) em mudas de <i>N. grandiflora</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.	23
Tabela 3. Incremento em altura de planta (IH) e em diâmetro do coleto (IDC), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF) em mudas de <i>N. grandiflora</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.	24
Tabela 4. Incremento em altura da planta (IH), massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca do coleto (MSC) em mudas de <i>N. grandiflora</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.	25
Tabela 5. Massa seca de folhas (MSF), area foliar (AF) e perda de eletrólitos de raiz (PER) em mudas de <i>I. sessilis</i> submetidos a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.	26
Tabela 6. Área foliar (AF), massa seca do coleto (MSC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de raiz (MSR) em mudas de <i>I. sessilis</i> submetidos a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.	26

ARTIGO II

Tabela 1. Coeficiente de Correlação de Pearson entre metodologias para determinação do teor de água em caules em mudas de <i>N. grandiflora</i> em função do período de déficit hídrico.	41
Tabela 2. Coeficiente de Correlação de Pearson entre métodos para determinação do teor de umidade em caules de mudas de <i>I. sessilis</i> em função do período de déficit hídrico.	44

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO II

Figura 1. Médias de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação durante a condução do ensaio.....	39
Figura 2. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule em mudas de <i>N. grandiflora</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob tempo zero de restrição hídrica.....	40
Figura 3. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de <i>N. grandiflora</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob trinta dias de restrição hídrica.....	41
Figura 4. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de mudas de <i>I. sessilis</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob tempo zero de restrição hídrica.....	42
Figura 5. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de mudas de <i>I. sessilis</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob quinze dias de restrição hídrica.....	43
Figura 6. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de <i>I. sessilis</i> submetidas a procedimentos rustificativos sob trinta dias de restrição hídrica.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
2. ARTIGO I – CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A ESTÍMULOS QUÍMICOS E FLEXÕES CAULINARES SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA.....	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	19
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.2.1 Descrição das Espécies	20
2.2.2 Período e Localização do Ensaio	21
2.2.3 Tratamentos	21
2.2.4 Déficit Hídrico e Avaliações.....	22
2.2.5 Análise Estatística.....	23
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
2.3.1 <i>N. grandiflora</i>	23
2.4 CONCLUSÕES	28
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
3. ARTIGO II - MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS RUSTIFICADAS COM METIL JASMONATO E FLEXÕES CAULINARES.....	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	34
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.2.1 Localização do Ensaio	36
3.2.2 Obtenção e Caracterização das Mudanças	37
3.2.4 Déficit Hídrico e Avaliações.....	38
3.2.5 Análise Estatística.....	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.3.1 <i>N. grandiflora</i>	39
3.3.2 <i>I. sessilis</i>	42
3.4 CONCLUSÕES	46
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51

1. INTRODUÇÃO GERAL

Exposição prolongada e dessecação das raízes, o acondicionamento dessas ao solo, a transição de regimes hídricos e luminosos, entre outros advindos do processo de manejo, como transporte e o transplante da muda, acarretam estresses que comprometem o desempenho a campo e culminam em alta mortalidade em plantas, principalmente nas primeiras fases de desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Durante a produção de mudas de espécies lenhosas torna-se relevante a formação de indivíduos capazes de suporte para sustentar possíveis injúrias, sem onerar as práticas realizadas posteriormente em viveiro e a campo em razão de eventuais necessidades de replantios ou subutilização da área.

Assim, para o sucesso do plantio é fundamental observar a qualidade do lote de muda a ser implantado. Nesse sentido, mudas de qualidade devem apresentar, conforme Araujo et al. (2018), o sistema radicular íntegro, bem agregado ao substrato e com presença de raiz de sustentação e secundária; estado nutricional adequado; ausência de pragas e doenças; altura uniforme e caule firme.

No viveiro, a rustificação visa à “preparação fisiológica” da muda, submetendo-a às condições estressantes por meio de uma série de práticas conjuntas ou isoladas, que modulam o desenvolvimento para promover resistência e assegurar a sobrevivência e o estabelecimento inicial a campo. Nesse sentido, o efeito de estímulos mecânicos e químicos através de flexões caulinares e a aplicação de regulador vegetal demonstraram ser efetivos na alteração de características morfofisiológicas por diversos autores (CADORIN et al., 2015; DRANSKI et al., 2015; ORO et al., 2016; VOLKWEIS et al., 2014).

Na acepção de modular características morfofisiológicas, o efeito do estímulo mecânico foi estabelecido por Jaffe (1973) como tigmomorfogênese, o qual designa alterações nos padrões de crescimento sob influência da ação: dos ventos; do impacto da gota de chuva; da sobreposição de galhos; da passagem de animais; e de outras perturbações capazes de promover alterações genéticas, bioquímicas, morfológicas e fisiológicas em diversas espécies de plantas terrestres. Estudos desenvolvidos neste âmbito envolveram ações controladas e simularam a força do vento por meio de vibração, atrito, movimentação ou flexão caulinar (DRANSKI et al., 2015).

No desígnio de promover rusticidade às mudas de espécies lenhosas, os jasmonatos são importantes reguladores endógenos do crescimento vegetal, amplamente atuantes na

sinalização de estresse, modulando respostas de defesa (KERBAUY, 2012). Pesquisas têm evidenciado que a aplicação foliar do fitorregulador viabiliza alteração na expressão de genes responsáveis pelo aroma dos frutos, produção de pólen, indução da brotação, crescimento da parte aérea e radicular, bem como resistência a estresse bióticos e abióticos (KAUSCH et al., 2012; YAN; XIE, 2015).

Além da rustificação como possibilidade de viabilizar a atividade de produção de mudas, o conhecimento do teor de água no caule é imprescindível para definir o manejo do viveiro. Contudo, a determinação do teor de água em caules vegetais, ou baseiam-se em processos demorados com a utilização de estufa, ou em micro-ondas para secagem do material lenhoso de natureza destrutiva, o que impede a posterior utilização do material.

Os métodos de avaliação não destrutiva se apresentam como possível alternativa que permite estimar a necessidade de irrigação em mudas e as propriedades tecnológicas em caules de indivíduos adultos sem alterar sua estrutura, preservando o material e, desta forma, não comprometendo seu uso (DE PAULA, 2016).

A avaliação não destrutiva tornou-se uma ferramenta importante na inferência de propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido, principalmente, ao baixo custo dos equipamentos e praticidade, fornecendo resultados imediatos. Porém, a confiabilidade destes resultados é contestável (CARREIRA et al., 2006) especialmente quando usado em tecidos caulinares tenros, ou seja, oriundo de mudas de espécies lenhosas. Adicionalmente, espécies lenhosas, durante seu ciclo de vida, são geralmente confrontadas com déficit hídrico, não só causado por chuvas irregulares, mas também resultante das mudanças climáticas (MALAVASI et al., 2016).

Inga sessilis (Vell.) Mart., popularmente conhecida como ingá-macaco, ingá-ferradura ou ingá-carneiro, pertencente à família Leguminosae, apresenta altura de até 25 m, e tronco de até 60 cm de diâmetro. No Brasil, é amplamente distribuída, ocorrendo do Sudeste até Rio Grande do Sul, na encosta Atlântica e em matas de galerias dos cerrados (BACKES; IRGANG, 2009). Planta semidecídua, heliófita ou de luz difusa, secundária, característica de mata pluvial Atlântica e das matas ciliares do planalto, onde apresenta vasta dispersão, tanto nas associações primárias como secundárias (LORENZI, 2009). O mesmo autor ainda destacou que a espécie é abundante nos solos úmidos em várzeas aluviais, grande fixadora de nitrogênio, além de ser ótima para a composição de reflorestamento heterogêneos destinados à recuperação e enriquecimento da vegetação de áreas degradadas. Além disso, a madeira é usada para tabuado em geral; forros; fabricação de fosforo; lenha; carvão; e a casca usada para curtume.

Nectandra grandiflora Nees é popularmente conhecida como canela-amarela, pertence à família Lauraceae e caracteriza-se como árvore perenifólia, cujo porte dos indivíduos adultos pode atingir 20 m de altura, e 70 cm de diâmetro na altura do peito (DAP) (CARVALHO, 2010).

A espécie ocorre naturalmente nos estados de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul, em formações semiabertas como mata ciliares e capoeiras. Planta perenifólia, semi-heliófita, tolerando sombreamento de baixa intensidade na fase juvenil. Aparentemente indiferente quanto às condições de umidade do solo, é secundária e apresenta dispersão descontínua e irregular (LORENZI, 2009). Ocorre preferencialmente em formações secundárias abertas de terrenos de várzeas e meia encosta, com solos férteis e profundos. A madeira é indicada para obras internas, em carpintaria, como vigamentos, caibros, ripas, batentes de portas, forros, entre outros. Devido à ornamentação de sua copa, é empregada na arborização urbana, na restauração ambiental e, além disso, em razão do forte odor que exala, evidencia substâncias importantes para a utilização na indústria farmacêutica (CARVALHO, 2010; LORENZI, 2009; RIBEIRO, 2002).

Ambas espécies, *I. sessilis* e *N. grandiflora*, típicas do bioma Mata Atlântica, destacam-se pelos diversos potenciais de utilização, sendo especialmente indicadas para plantios com fins ambientais devido à atratividade de seus frutos a fauna silvestre (BACKES; IRGANG, 2009; CARVALHO, 2010).

Diante da importância ecológica destas espécies arbóreas, aliada à crescente demanda por mudas florestais nativas para recuperação de áreas, torna-se de fundamental importância a valorização de estudos envolvendo as diferentes etapas de produção de mudas em viveiro, visando à obtenção de mudas com bom desenvolvimento a campo.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva comparar metodologias de quantificação hídrica nos caules em mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis*, bem como avaliar as características morfofisiológicas apresentadas por estas espécies lenhosas quando submetidas à rustificação.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, M. M. NARROSKI, M. C. SCHORN, L. A. Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade e de mudas em viveiro florestal. In: ARAUJO, M. M. NARROSKI, M. C. SCHORN, L. A. **Produção de sementes e Mudanças**: um enfoque à Silvicultura. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018, p. 345-365.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**: Guia de identificação Interesse ecológico. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2 ed, 2009, 332 p.
- CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rusticificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.
- CARREIRA, M. R.; CHEUNG, A.B.; F. OLIVEIRA, G.R.; DIAS. A. A.; CALIL JÚNIOR. C.; SALES, A.; CANDIAN, M. **Classificação de peças estruturais de *Pinus sp* por ultrassom**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010, 664p.
- CAMPOE, O. C.; JANELLI, C.; STAPE J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233-242, 2014.
- DE PAULA, M.H. **Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) e sapucaia (*Lecythis pisonis Cambess*)**. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, DF, 2016.
- DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvor**, Viçosa, v. 39, n.5, p.905-913, 2015.
- FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O.; MENDER, J.; STAPE, J. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 40-45, 2015.
- JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v.114, n.2, p.143-156, 1973.
- KAUSCH, K.; SOLOLEV, A. P.; GOYAL, R. K.; FATIMA, T.; LAILA-BEEVI, R.; SAFTNER, R. A.; HANDA, A. K.; MATTOO, A. K. Methyl jasmonate deficiency alters cellular metabolism, including the amine of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Amino acids**, v. 42, p. 843-856, 2012.
- KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2009.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVASI, M. M. Estimating water in living woody stems: a review. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 415-422, 2016.

ORO, P.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Frequência da irrigação ao final da produção em mudas de espécies lenhosas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.15, n.2, p.94-102, 2016.

RIBEIRO, A. B.; SILVA, D. H. S; BOLZANI, V. S. Antioxidant flavonol glycosides from *Nectandra grandiflora* (Lauraceae). **Eclética Química**, v. 27, n. especial, p. 35-44, 2002.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Florest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p.1242-1251, 2009.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918p.

VOLKWEIS, R. C.; DRANSKI, J. A. L.; ORO, P.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. **Ciência Florestal**, v.24, n.2, p.339-342, 2014.

YAN, C.; XIE, D. Jasmonate in plant defence: sentinel or double agent? **Plant Biotechnology Journal**, v. 13, p. 1233-1240, 2015.

2. ARTIGO I – CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A ESTÍMULOS QUÍMICOS E FLEXÕES CAULINARES SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA.

RESUMO

A aplicação de metil jasmonato e estímulos mecânicos parecem modular aspectos morfológicos que asseguram a sobrevivência de mudas de espécies florestais lenhosas sob condições ambientais adversas. O presente estudo objetivou avaliar características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares submetidas à déficit hídrico. Mudas de *Nectandra grandiflora* e *Inga sessilis* foram submetidas a rustificação com $50 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de metil jasmonato; 20 flexões diárias e o tratamento controle, durante oito semanas. Em seguida, foram transplantadas em vasos contendo areia e submetidas à restrição hídrica durante um mês, sendo avaliadas quinzenalmente atributos como incremento em altura de planta e diâmetro do coleto, área foliar, massa seca do caule, raiz e folhas, potencial de regeneração de raízes e perda de eletrólitos de raiz. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com três tratamentos e sete repetições de três mudas cada. Em *N. grandiflora*, as flexões caulinares externaram menor emissão de raízes, e quando submetidas ao déficit hídrico, reduziu-se a área foliar, massa seca foliar e incremento em altura, até o final do período avaliado. Para *I. sessilis*, no tempo 0 e ao 15º dia, as flexões caulinares externaram menor massa seca de folhas em relação ao metil jasmonato, no entanto, ambos não diferiram do controle. Ao 15º dia, a menor área foliar foi observada nas mudas tratadas com flexões caulinares, bem como a menor perda de eletrólitos do tecido radicular. Ao 30º dia, ambos tratamentos rustificativos demonstram menor área foliar e massa seca de folhas, e o metil jasmonato externou menor massa seca do caule e de raiz em relação ao tratamento controle. Assim, o método mecânico não é recomendado para rustificação de mudas de *N. grandiflora*, e ambos os métodos, químico – com metil jasmonato – e o mecânico – mediante flexões caulinares – não apresentaram resultados satisfatórios que justifiquem a sua utilização para rustificação de mudas de *I. sessilis*.

Palavras-chave: Estímulo mecânico. Fitorregulador. Rustificação de mudas.

2. ARTICLE I - MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WOODY SPECIES SUBMITTED TO STEM BENDING AND CHEMICAL STIMULES UNDER WATER RESTRICTION.

ABSTRACT

The application of methyl jasmonate and mechanical stimuli seem to modulate morphological characteristics that are to ensure survival under adverse environmental conditions. This study aimed to evaluate morphological characteristics of woody species rustified with methyl jasmonate and stem bending submitted to water deficit. Seedlings of *Inga sessilis* and *Nectandra grandiflora* were submitted to 20 repetitions of stem bending; pulverization of 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of methyl jasmonate, and the control treatment for eight weeks. Subsequently, they were transplanted into vessels containing sand and submitted to water restriction for a month, being evaluated every two weeks by parameters such as height, diameter, number of leaves, leaf area, stem, and root dry mass, root regeneration potential, and loss of electrolytes at the root. The design was completely randomized with seven replicates of three seedlings each. In *N. grandiflora*, stem bending showed lower root emission, and, when submitted to water deficit, presented reduced leaf area, leaf dry mass, and increase in height, until the end of the evaluated period. For *I. sessilis*, at time 0 and at day 15, the stem bending expressed lower leaf dry mass in relation to jasmonate; however, neither one differed from the control. At the 15th day, the smallest leaf area was observed in the seedlings treated with stem bending, as well as the lowest loss of electrolytes in the root tissue. At the 30th day, both rustificative treatments showed lower leaf area and leaf dry mass, and the jasmonate showed lower dry mass of both stem and root in relation to the control treatment. Therefore, the mechanical method is not recommended for rustification of *N. grandiflora* seedlings, and both methods, chemical – with jasmonic acid – and mechanical – through stem bending – did not present satisfactory results that could justify their utilization for rustifying *I. sessilis* seedlings.

Keywords: Mechanical stimuli. Phytohormone. Rustification of seedling.

2.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos madeireiros e seus derivados, bem como nos programas de recuperação de áreas degradadas, evidencia a necessidade de geração de novas tecnologias de produção, com um padrão de qualidade adequado, objetivando o estabelecimento de florestas cada vez mais produtivas (ELOY et al., 2013) e minimizando a oneração da atividade por eventuais replantios ou subutilização da área decorrente da mortalidade de mudas.

A definição de qualidade das mudas baseia-se nas características morfológicas e fisiológicas avaliadas na fase de viveiro. No entanto, em função das adversidades encontradas no campo, é fundamental correlacionar tais atributos com a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas após o plantio.

O sucesso do estabelecimento do plantio florestal pode ser comprometido por vários fatores de natureza biótica ou abiótica. Nesse sentido, pesquisadores evidenciaram que a rustificação de espécies florestais mediante estímulos químicos (com reguladores vegetais) e mecânicos (com flexões caulinares) são capazes de modular características morfofisiológicas do crescimento inicial e estas tendem a se relacionar positivamente com a sobrevivência no campo (CADORIN et al., 2015; DRANSKI et al., 2015; VOLKWEIS et al., 2014).

O ácido jasmônico e seus derivados são reguladores endógenos do crescimento vegetal, oriundos do ácido linolênico, que ocorrem em várias espécies vegetais. São atuantes no mecanismo de defesa, agindo como sinalizadores de estresse, além de estarem relacionados à senescência de plantas, abscisão foliar e desenvolvimento de embriões (COLLI, 2012).

Além disso, diversos fatores naturais acarretam perturbações mecânicas nas plantas, como vento; impacto ou acúmulo da gota da chuva e granizo; declive; obstrução do solo; passagem de animais; sobreposição de galhos, entre outros. Alterações nos padrões de crescimento resultantes destes estímulos mecânicos foram definidos por Jaffe (1973) como tigmomorfogênese.

Estudos relacionando as alterações bioquímicas, fisiológicas, genéticas e morfológicas decorrentes de estímulos mecânicos, com os efeitos observados naturalmente, são desenvolvidos em condições controladas e simulam forças do vento por meio de atrito, vibração, movimentação ou flexão caulinar (DRANSKI et al., 2015).

Popularmente conhecido como canela-amarela, *Nectandra grandiflora* Nees é espécie endêmica do Brasil, com predominância nos biomas Mata Atlântica e Cerrado (LORENZI, 2009). Ainda que os estudos acerca das propriedades medicinais e do óleo essencial das folhas sejam escassos, indicam potencial antimicrobiano, antirreumática, diurético e digestivo (CUNICO et al., 2010).

Além disso, tal espécie destaca-se pelo potencial apícola das flores, que fornecem pólen e néctar; pelo potencial energético e madeireiro; além de, devido ao formato ornamental da copa, ser destinada ao paisagismo (CARVALHO, 2010). Segundo este autor, *N. grandiflora* ainda é conhecida especialmente por ser indicada para plantios com finalidade ambiental, pois seus frutos são atrativos à fauna.

Inga sessilis (Vell.) Mart, também conhecida como ingá-macaco, caracteriza-se como árvore perenifólia, podendo atingir até 25m de altura e 60 cm de DAP. Espécie descrita como colonizadora de clareiras naturais, apresenta grande plasticidade ambiental e ecológica. A madeira pode ser empregada em construção civil e, devido ao seu poder calorífero, ser utilizada como carvão e lenha (CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015).

Trata-se de uma importante espécie para recuperação de áreas degradadas, especialmente matas ciliares, pois suas flores nectaríferas são atrativos à formigas e vespas, e os frutos servem de alimento à fauna silvestre (BACKES; YANG, 2009).

Diante do exposto, a pesquisa objetivou avaliar as características morfofisiológicas de mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis* rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares, submetidas ao déficit hídrico.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Descrição das Espécies

Mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis* foram obtidas em um viveiro comercial localizado em Foz do Iguaçu - PR (altitude 174 m, latitude 25° 32' 49" S, e longitude 54° 35' 18" O).

As mudas foram produzidas em recipientes do tipo tubetes de polipropileno, com 10 cm³ de capacidade preenchidos com substrato comercial com incorporação de fertilizante de liberação lenta (15N-8P2O5-12K₂O) na proporção de 1,44 kg.m⁻³ de substrato.

N. grandiflora e *I. sessilis* apresentavam altura (H) e diâmetro do coleto (DC) em média de 19,03 cm, 3,61 mm e 16,07 cm, 3,04 mm, respectivamente, e foram acomodadas em bandejas suspensas, com capacidade de 96 tubetes.

Durante 30 dias foram aclimatadas ao local do experimento, sob irrigação diária e recebendo fertilização semanal de 2,0 ml de solução nutritiva descrita na Tabela 1. Posteriormente, deu-se início à imposição dos tratamentos por oito semanas, conforme Cadorin et al. (2015).

Tabela 1. Composição da solução nutritiva para adubação das mudas.
Table 1. Nutritive solution composition for seedlings fertilization.

Solução nutritiva					
KH ₂ PO ₄	MgSO ₄	KNO ₃	Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	Micro completa	Fe-EDTA
.....MI L ⁻¹					
1,0	2,0	5,0	5,0	1,0	1,0

2.2.2 Período e Localização do Ensaio

O ensaio ocorreu no período de maio a setembro de 2018 em casa de vegetação recoberta com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV de 150 micra de espessura, resultando em 20% de sombreamento, conforme a informação do fabricante. O ambiente protegido, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, PR, está localizado em área com altitude média de 420 m, latitude de 24° 33' 40'' S e longitude de 54° 04' 12''O. O clima caracteriza-se, segundo Köppen, como Cfa, subtropical mesotérmico úmido, com verões quentes, geadas pouco frequentes e com precipitação pluviométrica anual entre 1.600 a 1.800 mm (IAPAR, 2018).

As características morfométricas foram quantificadas pela diferença antes e depois da imposição dos tratamentos, determinando os incrementos em altura e diâmetro do coleto com auxílio de régua graduada e paquímetro digital. A submissão aos tratamentos perdurou por oito semanas, de acordo com a metodologia proposta por Cadorin et al. (2015).

2.2.3 Tratamentos

Controle (Cont): água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente;

Jasmonato (Jas): Pulverização com 50µmol.L⁻¹ de metil jasmonato + água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente.

Tigmomorfogênese (Tig): Vinte flexões caulinares diárias.

O tenso-ativo não iônico utilizado foi Agral - Syngenta®, seguindo as recomendações de dose do fabricante, e as aplicações foram realizadas com pulverizador costal manual, até o ponto de escorrimento foliar. O volume foi de aproximadamente 7,0 mL por muda.

Os estímulos mecânicos foram realizados seguindo a metodologia de Volkweis et al. (2014), com auxílio de uma estrutura construída a partir de adaptações de um modelo proposto por Jacobs e Landis (2009), o qual baseia-se em um aparato de ferro sobre rolamentos e um cano de PVC, que colidiu com o caule das mudas, no terço inferior da folhagem. As flexões caulinares consistiram em vinte movimentos ida-e-volta, sempre no mesmo horário, à tarde, a uma velocidade de $0,10 \text{ m seg}^{-1}$.

2.2.4 Déficit Hídrico e Avaliações

Findadas as oito semanas de submissão aos tratamentos, mensurou-se novamente a altura e o diâmetro do coleto para cálculo dos incrementos.

Para a imposição do déficit hídrico, as mudas foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 5 L, preenchidos com areia seca peneirada em malha de 2 mm, sob completa restrição hídrica em ambiente protegido, onde permaneceram durante um mês. Durante este período, foi determinado, quinzenalmente, altura de planta e diâmetro do coleto conforme descrito anteriormente. As avaliações destrutivas realizadas ao final da imposição dos tratamentos consistiram em:

Teste de perda de eletrólitos em tecidos radiculares, conforme Wilner (1955), que consiste na retirada de $\pm 2 \text{ g}$ de tecido do sistema radicular, condicionando-os em recipientes de vidro contendo 20 mL de água deionizada, mantidos a temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h, aferindo a condutividade elétrica desta solução (C_{viva}). Ao fim deste período e, posteriormente, as mesmas raízes foram autoclavadas a 100°C por 10 minutos e recolocadas em solução renovada nas mesmas condições, quantificando novamente a condutividade elétrica da solução (C_{morta});

Foi estabelecida a massa seca dos tecidos radiculares, caule e folhas, conforme a norma da ABNT NBR 14929 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

A área foliar foi determinada com auxílio do medidor portátil modelo LI-3000A, Li-Cor, USA.

O potencial de regeneração de raíz (PRR) foi realizado de acordo com Landis et al. (2010), ao final da imposição dos tratamentos e simultaneamente às avaliações sob restrição hídrica, através do plantio de três mudas por repetição, em vasos de 5 L preenchidos com areia. As mudas permaneceram nesse local durante vinte e oito dias sob irrigação diária até a capacidade de campo. Logo após, quantificou-se a massa de matéria seca de novas raízes emergidas.

2.2.5 Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, compreendendo três tratamentos (controle, metil jasmonato e flexões caulinares), com sete repetição de três unidades experimentais (mudas). As espécies foram analisadas separadamente.

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, e em seguida submetidos à análise de variância. Quando as médias dos tratamentos foram significativamente diferentes ($P < 0,05$) utilizou-se o teste de Tukey com auxílio do software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 *N. grandiflora*

No início do período de deficiência hídrica (0 dias), a análise de variância demonstra que não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos para os atributos: incremento em altura (média de 1,37 cm), incremento em diâmetro (0,46 mm), massa seca do caule (1,94 g/muda), massa seca de raiz (4,26 g/muda) e perda de eletrólitos de raiz (32,8%).

Verificou-se que plantas estimuladas mecanicamente externaram menor emissão de novas raízes, e a pulverização com o jasmonato não diferiu do tratamento controle (Tabela 2). Contudo, os resultados encontrados na bibliográfica não corroboram o presente estudo.

As flexões caulinares externaram médias expressivamente menor (70,6%) quanto à área foliar em relação ao controle (Tabela 2), que por sua vez, se demonstrou semelhante estatisticamente ao tratamento com o metil jasmonato. Deste modo, estes resultados foram refletidos de forma equivalente na análise de massa seca das folhas no momento da suspensão hídrica.

Tabela 2. Potencial de regeneração da raiz (PRR), e área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF), em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.

Table 2. Root regeneration potential (PRR), leaf area (AF), leaf dry mass (MSF), in *N. grandiflora* seedlings submitted to hardening procedures under water deficit.

Tratamento	PRR (g/planta)	0 dias	
		AF (cm ² /planta)	MSF (g/planta)
Tig	0,22 b	3,24 b	0,22 b
Con	0,07 a	11,04 a	1,00 a
Jas	0,09 a	15,21 a	1,18 a
CV(%)	24,79	33,05	31,95

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares), cont = controle, jas = pulverização com metil jasmonato.

Os testes realizados ao 15º dia de restrição hídrica não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) para os atributos: massa seca do caule (média de 0,55 g), massa seca de raiz (0,96 g), perde de eletrólitos do tecido radicular (49,74%).

Com relação ao crescimento (Tabela 3), os procedimentos rustificativos não diferiram estatisticamente entre o tratamento controle, no entanto, as flexões caulinares expressaram menor incremento na altura das plantas em relação às mudas pulverizadas com fito regulador. Para o incremento no diâmetro do coleto, os menores valores verificados foram tanto nas mudas flexionadas, quanto naquelas que receberam o metil jasmonato em relação ao controle, contudo, os tratamentos rustificativos não distinguiram entre si.

Semelhante ao observado ao momento da suspensão hídrica (Tabela 2), ao 15º dia, as mudas que receberam os estímulos mecânicos mantiveram médias menores em relação aos demais, tanto na análise de área foliar quanto para massa seca de folhas (Tabela 3), que conferiu às mudas uma redução de 58,9 e 63,6%, em relação ao tratamento controle, respectivamente. Ainda, a aplicação com o jasmonato não demonstrou diferenças do tratamento controle.

Tabela 3. Incremento em altura de planta (IH) e em diâmetro do coleto (IDC), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF) em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico.

Table 3. Increment in height (IH) and in stem diameter (IDC), leaf area (AF) and leaf dry mass (MSF), in *N. grandiflora* submitted to hardening procedures under water deficit.

Tratamento	15 dias			
	IH (cm/planta)	IDC (mm/planta)	AFO (cm ² /planta)	MSF (g/planta)
Tig	2,29 b	0,30 b	7,78 b	0,12 b
Cont	3,52 ab	0,55 a	16,87 a	0,33 a
Jas	4,01 a	0,31 b	18,93 a	0,32 a
CV(%)	30,61	29,07	33,13	27,61

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares), cont = controle, jas = pulverização com metil jasmonato.

O efeito da redução no incremento de altura acarretado pelas flexões caulinares, observado ao 15º dia (Tabela 3), permaneceu na avaliação realizada ao 30º, diminuindo em 37,4% em relação às mudas controle que, por sua vez, não diferiu do jasmonato, como aponta a Tabela 4. No entanto, a diferença no incremento em diâmetro de coleto verificado anteriormente igualou-se ao 30º dia, haja visto que os tratamentos não apresentaram variações para este atributo.

A redução proeminente acerca do tamanho da área foliar bem como a massa seca de folhas, atribuídas às flexões caulinares, considerando desde o início da suspensão hídrica, permaneceu até o 30º dia. Desta forma, é possível afirmar que este procedimento, para a espécie referida, favoreceu a abscisão das folhas.

A pulverização com metil jasmonato externou maior massa seca do caule (Tabela 4) em relação ao tratamento tigmomorfogênese, contudo ambos não diferiram do tratamento controle.

Tabela 4. Incremento em altura da planta (IH), massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca do coleto (MSC) em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos, sob déficit hídrico.

Table 4. Increment in height (IH), leaf dry mass (MSF), stem dry mass (MSC) in *N. grandiflora* seedlings submitted to hardening procedures, under water deficit.

Tratamentos	30 dias		
	IH (cm/planta)	MSF (g/planta)	MSC (g/planta)
Tig	2,10 b	0,18 b	0,46 b
Cont	3,34 a	0,29 a	0,47 ab
Jas	3,72 a	0,25 a	0,55 a
CV (%)	23,97	21,08	12,36

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares), cont = controle, jas = pulverização com metil jasmonato.

2.3.2 *I. sessilis*

No final do período de imposição dos tratamentos, mudas estimuladas por flexões caulinares apresentaram menor massa seca de folhas em relação ao controle. A aplicação do metil jasmonato não diferenciou dos demais tratamentos (Tabela 5). O impacto físico da estrutura metálica sobre as mudas de *I. sessilis* favoreceu a abscisão foliar, logo após o término da submissão aos tratamentos. Essa relação é observada em todos os períodos das avaliações, refletindo nos menores resultados para área foliar e massa seca de folhas. (Tabela 5 e 6).

Os estímulos mecânicos conferiram às mudas de *I. sessilis* perda de eletrólitos radicular significativamente menor em relação ao tratamento controle e metil jasmonato, que por sua vez, não diferiram entre si. Esta análise (Tabela 5) pode se considerar um pressuposto que indica a resiliência sob eventual estresse hídrico, fundamentado pela maior integridade da membrana que resultará num menor extravasamento de íons.

Tabela 5. Massa seca de folhas (MSF), Área foliar (AF) e Perda de eletrólitos de raiz (PER) em mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos, sob déficit hídrico.

Table 5. Leaf dry mass (MSF), Leaf area (AF) and root electrolyte leakage (PER) in *I. sessilis* seedlings submitted to hardening procedures under water deficit.

Tratamento	0 dias		15 dias	
	MSF (g/planta)	AF (cm ² /planta)	MSF (g/planta)	PER (%)
Tig	3,74 b	68,22 b	0,95 b	52,08 b
Cont	7,01 a	111,01	1,65 a	94,57 a
Jas	6,19 ab	118,78 ab	1,40 ab	89,34 a
CV (%)	31,93	37,11	32,07	25,90

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont = Controle; Jas = aplicação de metil jasmonato.

Ao 30º dia de suspensão hídrica, ambos tratamentos rustificativos apresentaram menor área foliar e massa seca de folhas, em relação ao tratamento controle, porém, não diferiram entre si (Tabela 5).

Tabela 6. Área foliar (AF), massa seca do coleto (MSC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de raiz (MSR) em mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos, sob déficit hídrico.

Table 6. Leaf area (AF), stem dry mass (MSC), leaf dry mass (MSF) and root dry mass (MSR), in *I. sessilis* seedlings submitted to hardening procedures, under water deficit.

Tratamentos	30 dias			
	AF (cm ² /muda)	MSC (g/planta)	MSF (g/planta)	MSR (g/planta)
Tig	66,32 b	1,26 a	1,00 b	1,45 ab
Cont	131,87 a	1,48 a	1,94 a	1,81 a
Jas	91,14 b	1,03 b	1,28 b	1,22 b
CV (%)	21,65	21,79	22,05	19,45

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont = Controle; Jas = aplicação de metil jasmonato.

O mecanismo de resistência ao estímulo externo, dado pela ação da força de ventos, chuva e declive, sobre o desenvolvimento do sistema radicular, possivelmente se dá pelo

direcionamento da produção de raízes secundárias, promovendo a fixação e a estabilidade da muda (DRANSKI et al., 2015). A capacidade da muda no desenvolvimento e na emissão de novas raízes pode ser estimada pelo potencial de regeneração, considerado um preditivo de qualidade que determina o desempenho no campo.

Novaes et al. (2002), ao associar os resultados de PRR com a avaliação a campo, observaram que mudas com maior capacidade de regenerar suas raízes apresentaram também maior sobrevivência, reiterando a importância deste teste para prognosticar o estabelecimento e o crescimento após o plantio.

Lima et al. (2014) verificaram que as flexões caulinares estimularam a produção de novas raízes em eucalipto. Um estudo desenvolvido por Fraga (2017) também demonstrou um aumento médio de sete vezes no potencial de regeneração de raiz em relação ao tratamento controle, independentemente do método rustificativo aplicado. Ainda, esta foi a característica com maior influência sob o incremento em altura e na sobrevivência de *Tabebuia roseo-alba*.

Colli (2012) relata que as alterações morfológicas em decorrência da ação do etileno são respaldadas pela redução no transporte de auxinas, e reorganização de microtúbulos e microfibrilas da celulose da parede celular para uma posição longitudinal, de modo a reduzir a altura e aumentar a espessura do caule.

A biossíntese de etileno pode ser fomentada pela pulverização do jasmonato, em virtude da sintase ou oxidase do 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). A ACC sintase é a enzima catalizadora da conversão da S-adenosilmetionina (AdoMet), a ACC. A ACC oxidase catalisa a conversão do ACC em etileno na última etapa de síntese do hormônio (TAIZ; ZEIGER, 2013; VIEIRA et al., 2010).

A pulverização de metil jasmonato e as perturbações mecânicas têm se demonstrado eficientes ao promover alteração no crescimento primário e secundário de diversas espécies, de modo a reduzir a altura de planta e aumentar o diâmetro do coleto (CADORIN et al., 2015; MOREL et al., 2012; VOLKWEIS et al., 2014). Entretanto, esse efeito não foi observado no presente estudo, presumindo-se que o período de rustificação e/ou a intensidade de flexões caulinares e/ou concentração do hormônio não foram suficientes para induzir modificações no crescimento morfológico de *N. grandiflora*.

A área foliar representa o aparato de interceptação luminosa para a fotossíntese e é uma característica utilizada em análises do crescimento vegetal. A redução desta variável, bem como a massa seca de folhas, denota que os estímulos mecânicos, em forma de atrito ou ferimento, possivelmente induziram a síntese de etileno, o qual age como principal regulador do processo de abscisão foliar (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Nesse âmbito, Lima et al. (2014) correlacionaram maior número de folhas ao maior incremento na altura e diâmetro, indicando que mudas que apresentam maior área fotossintética obtêm maior desenvolvimento e desempenho a campo. Contudo, para *I. sessilis*, não foi observada diferenças significativas nos parâmetros incremento em altura e diâmetro durante os período estudado.

Muitos fatores podem promover modificações nas respostas às aplicações de reguladores vegetais, como a região de cultivo, a espécie utilizada, o estágio fenológico da planta, tipo de equipamento, métodos de aplicação e condição ambiental. Por tratar-se de produtos que agem em concentrações muito baixas, qualquer alteração pode modificar o efeito esperado (CASTRO; VIEIRA, 2003).

As respostas relacionadas à aplicação do jasmonato são similares aos do ácido abscísico e etileno, atuando na senescência, abscisão foliar, biossíntese do etileno e fechamento estomático, promovendo a tuberização e inibindo a germinação de sementes (COSTA, 2010). Presume-se que a diferença entre os resultados reportados na literatura e o exposto pode ser atribuída à concentração utilizada, a qual não foi suficiente para promover efeitos expressivos para esta espécie, visto que não foram observadas alterações nas análises de folha, raiz, altura e diâmetro do coleto logo após a imposição dos tratamentos.

É consolidado na literatura que as alterações fisiológicas e morfológicas estimuladas pelas ações de reguladores vegetais como metil jasmonato e flexões caulinares induzem a rusticidade. Porém, as diferentes respostas reportadas e atribuídas a estes procedimentos estão relacionadas com a espécie e com o estágio fenológico, tornando necessário investigar se de fato o mesmo efeito é observado em campo.

Presume-se que as flexões caulinares induziram estresse de modo a favorecer a abscisão foliar e a redução da área foliar, ou seja, a área fotossintética da muda. Isto possivelmente contribuiu para o menor crescimento posterior, expresso especialmente pelo menor incremento em diâmetro do coleto e menor massa seca de folhas das mudas submetidas a tal condição, refletindo em menores caules.

2.4 CONCLUSÕES

As flexões caulinares externaram menor área foliar, massa seca de folhas e incremento em altura e potencial de regeneração de raízes em mudas de *N. grandiflora*, ao final do período de déficit hídrico. Assim, o método mecânico não é recomendado para rustificação de mudas de *N. grandiflora*.

No tocante a *I. sessilis*, os tratamentos rustificativos químico e mecânico expressaram menor área foliar e massa seca de folhas, menor massa seca do caule e de raíz, após o período de restrição hídrica. Portanto, o método químico com metil jasmonato e o mecânico mediante flexões caulinares não são recomendados para rustificação de mudas de *I. sessilis*.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14929: madeira: determinação da umidade da madeira. Rio de Janeiro, 2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**: Guia de identificação e interesse ecológico, Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2 ed, 2009, 332p.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R; **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, Iniciativa INPUT, 139p. 2015.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010, 644p.

CASTRO, P. R. E.; VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na cultura do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, V. **Feijão irrigado**: tecnologia e produtividade. Piracicaba: ESALQ, p. 73-100, 2003.

COLLI, S. Outros Reguladores: brassinosteróides, poliaminas, ácidos jasmônico e salicílico. In: KERBAUY, G. B (ed). **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012, p. 337-338.

COSTA, N. de L. Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar. 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/878849>>. Acesso em: 03 jun. 2019

CUNICO, M.M.; VIEIRA, G., LIMA, C.P.; CÔCCO, L.C.; YAMAMOTO, C.I.; AUER, C.G.; SANQUETTA, C.R. Estudo preliminar antimicrobiano e fitoquímico do óleo essencial foliar da *Nectandra grandiflora* Nees (canela amarela). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2010, Curitiba. Anais. Curitiba: UFPR, 2010.

DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Relationship between lignina content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore**, v. 39, n.5, p.905-913, 2015.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHIMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L. ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de eucalyptus grandis utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRAGA, D. A. C. **Rustificação de mudas de *Cordia trichotoma* e *Tabebuia roseo-alba* por jasmonatos e flexões caulinares**. 2017. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2018.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Hardening. In: DUMROESE, R.K.; LUNA, T.; LANDIS, T.D. (Eds.). **Nursery manual for native plants: Guide for tribal nurseries**. v.1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, p.217-228, 2009.

JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v.114, n.2, p.143-156, 1973.

LANDIS, T.D.; DUMROESE, R.K.; HAASE, D.L. **The container tree nursery manual: seedling processing, storage, and out planting**. Washington: Department of Agriculture Forest Service, v. 7. 2010.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; BORSOI, A.; ECCO, M. Estímulos químico e mecânico na rustificação de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, v. 65, n. 5, p. 424-432, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2009.

MESQUITA, F. O.; NUNES, J. C.; LIMA NETO, A. J.; SOUTO, A. G. L.; BATISTA, R. O.; CAVALCANTE, L. F. Formação de mudas de nim sob salinidade de água, biofertilizante e drenagem do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 193-203, abr-jun, 2015.

MOREL, P., CRESPEL, L., GALOPINC, G., MOULIAD, B. Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. **Scientia Horticulturae**, v.135, p.59-64, 2012.

NOVAES, A. B.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D.; LELES, P. S. S. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho a campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p.675-681, 2002.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918p.

VIEIRA, E. L; SOUZA, G. L; SANTOS, A. R; SILVA, J. S. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010, 230p.

VOLKWEIS, R. C.; DRANSKI, J. A. L.; ORO, P.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. **Ciência Florestal**, v.24, n.2, p.339- 342, 2014.

WILNER, J. Results of laboratory tests for winter hardiness of woody plants by electrolyte methods. **Proceedings American Horticultura Science**, v.66, p.93-99, 1955.

3. ARTIGO II - MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS RUSTIFICADAS COM METIL JASMONATO E FLEXÕES CAULINARES.

RESUMO

O trabalho objetivou comparar metodologia destrutiva e não destrutiva na quantificação do teor de água do caule em mudas de duas espécies lenhosas rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares. As mudas foram submetidas à pulverização semanal de 50 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de metil jasmonato, 20 flexões diárias e um tratamento controle, durante oito semanas. Posteriormente, foram submetidas à restrição hídrica e o teor de umidade foi avaliado quinzenalmente (T0; T15; T30) pelo método de secagem em estufa (destrutivo, gravimétrico ou tradicional) e pelo medidor de umidade de madeira Homis (não-destrutivo, resistivo ou alternativo). Ainda, determinou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson entre as metodologias. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com sete repetições de três mudas, para cada espécie. Para *I. sessilis*, no início da imposição da restrição hídrica (T0), ambas avaliações apontaram menor teor de umidade para as mudas flexionadas, porém para o método não-destrutivo, elas não diferiram do controle. No T15, os tratamentos se demonstraram semelhantes entre si conforme o método resistivo, e de acordo com o gravimétrico, o metil jasmonato assegurou maior umidade no caule. No T30, ambos métodos indicaram o controle com menor umidade, e as flexões caulinares não diferiram do metil jasmonato. Para *N. grandiflora*, o método destrutivo não mostrou diferença entre os tratamentos ao T0, enquanto o tratamento controle apresentou menor umidade e as flexões caulinares não diferiram dos demais, conforme o alternativo. No T15, os tratamentos não diferiram entre si de acordo com ambas metodologias. Aos trinta dias, ambas rustificações foram eficientes em manter maior umidade no caule, independentemente do método alternativo. A substituição do método destrutivo pelo não destrutivo, de acordo com os resultados encontrados para ambas espécies, demonstrou-se inviável.

Palavras-chave: Avaliação não-destrutiva. Teor de umidade do caule; Rustificação.

WATER QUANTIFICATION METHODS IN HARDENING OF WOODY SPECIES WITH METIL JASMONATE AND STEM BENDING.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the destructive and non-destructive methods of quantification of the water content of the soil in leaves of plants oxidized with jasmonic acid and stem bending. The seedlings were subjected to 20 stem bending daily; 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ methyl jasmonate applied weekly; and a control treatment, for eight weeks. Afterwards they were submitted to the water restriction and to the moisture content during the period biweekly through the drying method at 65°C for 72 hours and by the Homis wood moisture meter. The design was completely randomized, with seven replicates of three seedlings. For *I. sessilis* the beginning of the imitation of the water restriction, the limitations indicated a lower hydration content for the stem bending, but for the alternative method, as the did not differ from the control. At fifteen days, the treatments were demonstrated between the two senses and evaluations. The third alternate day is indicated for the control with shorter duration, as well as a nondestructive evaluation, however, for a change in the control of jasmonato. For *N. grandiflora*, the destructive method is not able to differentiate the diameters of the water process, whereas the cauline crushes expressed the lowest humidity, not differing from the jasmonato, according to the alternative. At 15 days, the treatments did not differ among themselves and according to the methodologies. The three days, the methods of destructive indicated greater humidity to the flexionated and the treatment did not differ between the by the alternative method.

Keywords: Non-destructive evaluation. Stem moisture content. Rustification.

3.1 INTRODUÇÃO

Medições precisas do status hídrico da planta são essenciais para uma melhor compreensão da produtividade e das práticas de manejo de espécies lenhosas sob presentes, futuras e diversas condições ambientais. Variações no teor de água no caule estão geralmente relacionadas à precipitação sazonal. Flutuações de tamanho do diâmetro do caule estão associadas particularmente à variação no teor de água da casca e ao inchamento e contração do alburno.

Mudanças no conteúdo de água dos tecidos extensíveis do caule são prontamente reversíveis, causando variação diurna atribuída à mudança do potencial hídrico no xilema (MALAVASI et al., 2016a). A água pode ser retirada dos tecidos lenhosos internos do xilema, mas a cavitação ocorre, em vez do encolhimento, porque esse tecido é menos elástico. A água armazenada nos tecidos elásticos do caule atenua a defasagem entre as raízes e as brotações prevenindo embolias e garantindo taxas ótimas de transpiração (PERÄMÄKI et al., 2005).

Sendo assim, há uma grande necessidade de desenvolver tecnologias visando a determinação rápida e precisa do teor de água (umidade) no caule de mudas. Como uma alternativa para caracterização deste material, técnicas não destrutivas vêm ganhando espaço devido à possibilidade de reutilização da amostra avaliada, bem como a rapidez de aplicação do método. Existem vários métodos para verificar o grau de umidade de tecidos lenhosos, alguns são exatos, porém não imediatos; outros oferecem rápida resposta, mas apresentam exatidão contestada pela literatura (CALONEGO et al., 2006).

Nesse sentido, os métodos alternativos, também denominados não destrutivos, apresentam importância fundamental no contexto da ciência e tecnologia do lenho. Os estudos envolvendo ensaios convencionais e não destrutivos e a comparação entre os dois métodos são imprescindíveis para difundi-los com a ratificação da veracidade para diferentes espécies (LEITE, 2012).

Como exemplo de avaliação não destrutiva, os medidores elétricos com princípios resistivos e capacitivos fornecem respostas imediatas, porém ainda apresentam exatidão questionada. Assim, na escolha de método mais adequado para determinada espécie, faz-se necessário entender como a água se encontra no lenho e, principalmente, confrontar diferentes técnicas de determinação de umidade (CRISÓSTOMO et al., 2016).

Além disso, a restrição hídrica é um importante fator limitante à produção vegetal, pois dentre os fatores essenciais, a água pode ser considerada um dos mais restritivos, e as

estimativas indicam que, com o aumento do aquecimento global, os períodos de estiagem em diversas regiões do planeta se intensificam gradualmente (ALLEN et al., 2010).

Adicionalmente, os viveiros florestais são locais que se caracterizam pela grande demanda de água, o que é atribuído, segundo Turchetto et al. (2015), à necessidade de regulação da temperatura pelas plantas. Portanto, o desenvolvimento de plantas que apresentem tolerância à seca é fundamental para a sobrevivência, de modo a assegurar a produtividade, sem onerar a atividade pelo eventual replantio.

A susceptibilidade ou a tolerância à seca é caracterizada por vários atributos (anatômicos, morfológicos, fisiológicos e bioquímicos) externados simultaneamente através de diversos modos, e estão relacionados com a severidade e a taxa de imposição da deficiência hídrica, do estágio fenológico, condições nutricionais e demanda evaporativa da atmosfera (MATOS et al., 2014).

Nesse contexto, a tolerância à escassez hídrica tem sido o escopo de estudos que indicam a possibilidade de indução, mediante práticas capazes de modular as características morfofisiológicas, tornando as plantas aptas a estabelecerem-se nas condições adversas às quais serão inseridas. A aplicação de estímulos mecânicos e reguladores vegetais são algumas técnicas que podem ser adotadas na rotina dos viveiros para promover a rustificação (DRANSKI et al., 2015; ORO et al., 2011; VOLKWEIS et al., 2014).

A alteração nos padrões de crescimento como resposta a estímulos mecânicos é descrita por Jaffe (1973) como tigmomorfogênese. A movimentação mecânica decorrente da ação dos ventos, passagem de animais, sobreposição de galhos, impacto da gota da chuva, entre outros, induzem respostas variáveis entre espécies. No entanto, em lenhosas, é comumente observado a redução do alongamento celular resultando em menor altura, e aumento no crescimento radial, promovendo expansão do diâmetro do coleto, atributos esses relacionados com indicadores de qualidade de mudas (VOLKWEIS et al., 2014; DRANSKI et al., 2015).

Além disso, o efeito dos reguladores vegetais pode induzir a rustificação de mudas, a exemplo do ácido jasmônico e seus derivados. Estes são reguladores endógenos oriundos do ácido linoleico, relacionado com a senescência de plantas, abscisão foliar, desenvolvimento de embriões e mecanismo de defesa, que atuam como sinalizadores de estresse, por induzir a expressão de genes envolvidos na resistência de patógenos e insetos (COLLI, 2012).

Entre as espécies nativas do Bioma Mata Atlântica com potencial ecológico utilizadas em plantios de recuperação ambiental ou enriquecimento de áreas destacam-se *Inga sessilis* e *Nectandra grandiflora* (BACKES, IRGANG, 2009; CARVALHO, 2010).

Popularmente conhecido como ingá (ingá-do-brejo, ingá-banana, entre outros), *Inga sessilis* (Vell.) Mart., é pertencente à família Fabaceae e o seu centro de origem é a América Central, exclusivamente considerada neotropical, ou seja, ocorrendo também na parte Sul da América do Norte, América Central e América do Sul. No Brasil é amplamente distribuído, desde a Amazônia até o Nordeste, estendendo-se também para as regiões Sul (LORENZI, 2009).

Esta espécie pode ser empregada em sistemas agroflorestais, recuperação de áreas degradadas e arborização (JOSLIN et al., 2011; LOJKA et al., 2012). Também possui potencial econômico, sendo utilizada na indústria madeireira (produção de caixotaria); para fins energéticos (lenha e carvão); medicinais (fitoterápico); alimentícios (frutos comestíveis muito apreciados pela fauna); e a copa promove sombreamento para culturas como cacau e café (LORENZI, 2009).

A *Nectandra grandiflora* Nees et Mart., popularmente conhecida como canela-amarela, ocorre em Floresta Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa, em altitudes entre 600 e 1300 m. Quanto à importância econômica, sua madeira pode ser empregada em construção civil, mas seu grande potencial está em fins ambientais e nos produtos não madeiráveis, como os fitofármacos, por exemplo (CARVALHO, 2010).

Com base no exposto, a pesquisa objetivou comparar metodologia destrutiva e não-destrutiva na quantificação do teor de água do caule em mudas das espécies lenhosas *I. sessilis* e *N. grandiflora* rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares submetidas à restrição hídrica.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Localização do Ensaio

O experimento foi conduzido no período de maio a setembro de 2018 em casa de vegetação recoberta com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV de 150 micra de espessura, resultando em 20% de sombreamento, conforme informações do fabricante. O ambiente protegido pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná Campus Marechal Cândido Rondon está localizado em área com altitude média de 420 m, latitude de 24° 33' 40'' S e longitude de 54° 04' 12'' O. O clima caracteriza-se, segundo Köppen, como Cfa, subtropical mesotérmico úmido, com verões quentes, inverno com geadas pouco frequentes e com precipitação pluviométrica anual entre 1.600 a 1.800 mm (IAPAR, 2018).

3.2.2 Obtenção e Caracterização das Mudanças

Mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis* foram adquiridas aos 80 dias após a semeadura, de viveiro comercial localizado em Foz do Iguaçu - PR (altitude 174 m, latitude 25° 32' 49" S, e longitude 54° 35' 18" O).

As mudas foram produzidas em recipientes do tipo tubetes de polipropileno, com 120 cm³ de capacidade preenchidos com substrato comercial com incorporação de fertilizante de liberação lenta (15N-8P2O5-12K₂O) na proporção de 1,44 kg.m⁻³ de substrato.

Apresentavam altura (H) e diâmetro do coleto (DC) em média de 19,03 cm, 3,61mm e 16,07cm, 3,04mm, respectivamente e, durante 30 dias foram aclimatadas ao local do experimento, permanecendo em bandejas suspensas, com capacidade de 96 tubetes, sob irrigação diária e recebendo fertilização semanal de 2,0 mL de solução nutritiva descrita na Tabela 1. Posteriormente, deu-se início à imposição dos tratamentos por oito semanas, conforme Cadorin et al. (2015).

3.2.3 Tratamentos

Controle (Cont): água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente;

Jasmonato (Jas): Pulverização com 50µmol.L⁻¹ de metil jasmonato + água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente.

Tigmomorfogênese (Tig): Vinte flexões caulinares diárias.

O tenso-ativo não-iônico utilizado foi Agral - Syngenta®, seguindo as recomendações de dose do fabricante, e as aplicações foram realizadas com pulverizador costal manual, até o ponto de escorrimento foliar. O volume foi de aproximadamente 7,0 mL por muda.

Os estímulos mecânicos foram realizados seguindo a metodologia de Volkweis et al. (2014), com auxílio de uma estrutura construída a partir de adaptações de um modelo proposto por Jacobs e Landis (2009), o qual baseia-se em um aparato de ferro sobre rolamentos e um cano de PVC, que colidiu com o caule das mudas, no terço inferior da folhagem. As flexões caulinares consistiram em vinte movimentos ida-e-volta, sempre no mesmo horário à tarde, a uma velocidade de 0,10 m seg⁻¹.

3.2.4 Déficit Hídrico e Avaliações

Em seguida, para a imposição do déficit hídrico, as mudas foram transplantadas para vasos de polipropileno com capacidade de 5 L, preenchidos com areia seca peneirada em malha de 2 mm, permanecendo sob completa restrição hídrica em ambiente protegido, durante um mês. Durante este período, foi determinado quinzenalmente o teor de água do caule das mudas por:

Método destrutivo (gravimétrico ou convencional): diferença de massas antes e depois da secagem em estufa, segundo a norma estabelecida pela ABNT NBR 14929 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) (destrutivo) ou com auxílio do aparelho medidor digital de umidade de madeira da marca Homis®;

Método não destrutivo (resistivo ou alternativo): Com o auxílio do aparelho medidor digital modelo 118 (não-destrutivo), que consiste na fixação de dois pinos metálicos, na profundidade de 1/3 da espessura do material, com o cuidado para esses não perfurarem totalmente e transpassar o caule de modo que fiquem expostos. Os resultados desta avaliação consistiram em médias de aferições realizadas na parte basal, mediana e ápice das mudas.

3.2.5 Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, compreendendo três tratamentos, sete repetições com três unidades experimentais (mudas) cada. As espécies foram avaliadas de forma individual.

Os dados foram analisados quanto à normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, e em seguida submetidos à análise de variância. Quando as médias dos tratamentos foram significativamente diferentes ($P < 0,05$) utilizou-se o teste de Tukey e, adicionalmente, realizou-se a Correlação de Pearson com auxílio do software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações de temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento estão evidenciadas na Figura 1. A aclimação das mudas decorreu durante os meses de maio e junho. Os tratamentos foram aplicados em junho e julho, e a imposição ao déficit hídrico bem como as avaliações foram realizadas em agosto e setembro.

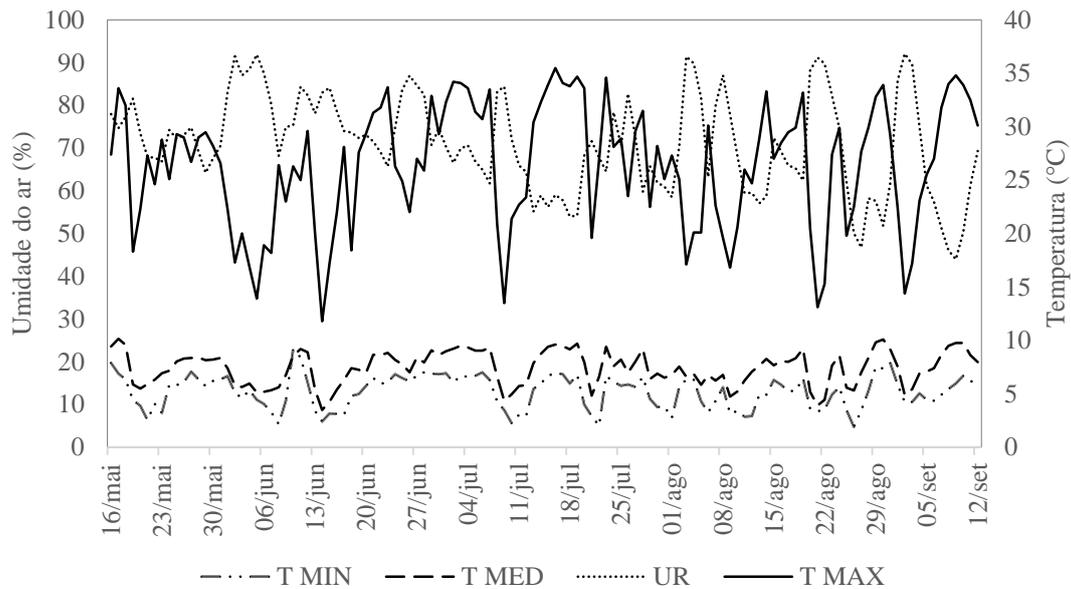


Figura 1. Médias de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação durante a condução do ensaio.

Figure 1. Temperature and relative humidity averages inside greenhouse during the conduct of test.

Fonte: BRAZ et al. (2019).

3.3.1 *N. grandiflora*

De acordo com o método destrutivo, na primeira avaliação realizada sob déficit hídrico (Figura 2) não houve diferença entre os tratamentos ($p > 0,05$), sendo obtida uma umidade média do caule de 63,2%. Para o aparelho resistivo, os tratamentos divergem entre si ($p < 0,05$) manifestando a maior umidade em mudas pulverizadas com metil jasmonato e menor nas correspondentes ao controle, contudo, ambos tratamentos não diferiram das flexões caulinares.

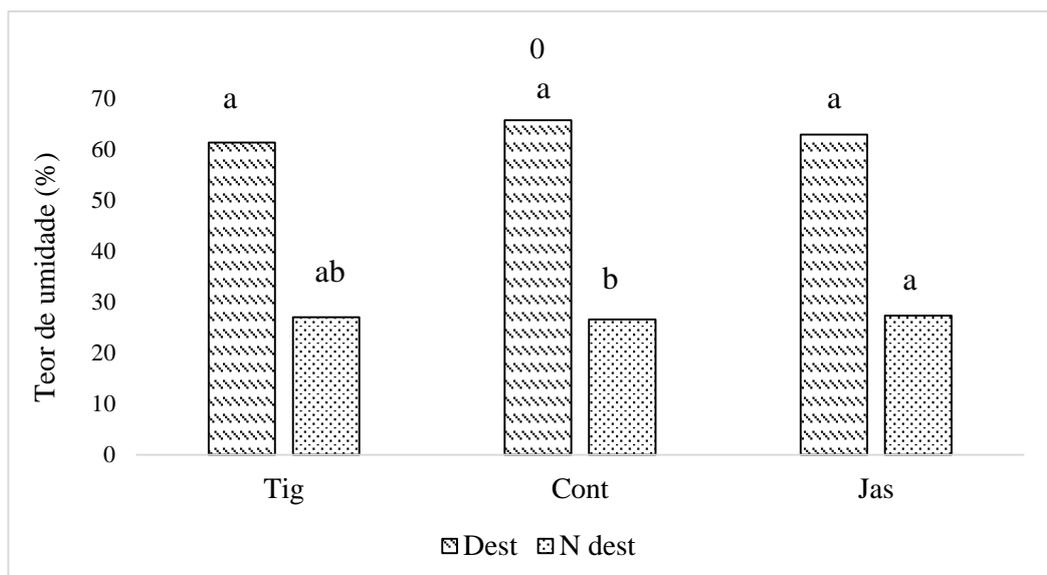


Figura 2. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob tempo zero de restrição hídrica.

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, para cada método avaliativo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig= tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont= controle; Jas= pulverização com metil jasmonato; n dest= método não-destrutivo; dest= método destrutivo.

Fonte: BRAZ et al. (2019).

A análise de variância apontou que na avaliação realizada ao 15º dia da restrição hídrica, os tratamentos rustificativos não diferem entre si ($p > 0,05$) para ambas metodologias investigadas, com valores médios de umidade do caule de 33,3% e 27,2% para avaliação destrutiva e não-destrutiva, respectivamente.

As diferenças observadas entre os tratamentos ($p < 0,05$), de acordo com o método gravimétrico, sugere que o maior teor de umidade ao 30º dia sem suprimento hídrico (Figura 3) foi observado nas mudas estimuladas mecanicamente, o que confere menor resistência à passagem de corrente elétrica (GANN, 2019).

Contudo, para esta avaliação, ambos tratamentos rustificativos não diferiram das mudas controle, sugerindo que estes foram ineficientes para manter a umidade do caule sob intensa restrição hídrica. Em contrapartida, os tratamentos rustificativos não diferiram entre si ($p > 0,05$) para o método não destrutivo de determinação de umidade do caule.

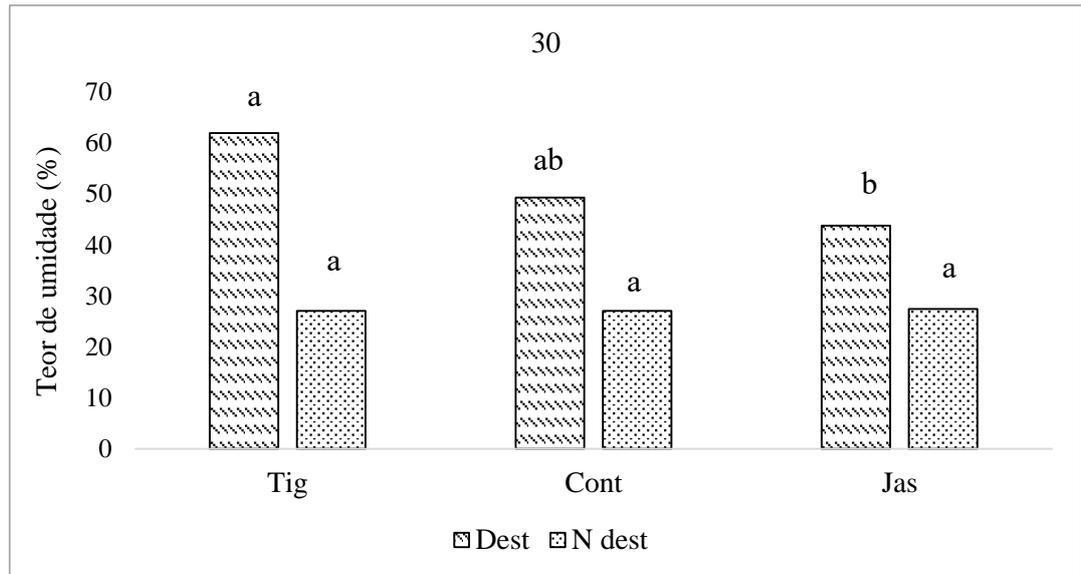


Figura 3. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob trinta dias de restrição hídrica.

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, para cada método avaliativo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig= tigmomorfose flexões caulinares); Cont= controle; Jas= pulverização com metil jasmonato; n dest= método não-destrutivo; dest= método destrutivo

Fonte: BRAZ et al. (2019).

Nesse âmbito, o método de determinação de umidade mediante instrumentos resistivos elétricos apresenta resultados imediatos e possibilita a utilização posterior do material. No entanto, a correlação negativa entre ambos, em todos os tempos avaliados para esta espécie (Tabela 3), aliada aos resultados obtidos com *I. sessilis* (Tabela 2), refuta a precisão do aparelho, impossibilitando a substituição do método gravimétrico (tradicional) empregado em mudas das espécies testadas.

Tabela 1. Coeficiente de Correlação de Pearson entre metodologias para determinação do teor de água em caules em mudas de *N. grandiflora* em função do período de déficit hídrico.

Table 1. Pearson correlation coefficient between methods for determination of stem moisture content in *N. grandiflora* in function of water deficit period.

	0		15		30	
	DEST	N DEST	DEST	N DEST	DEST	N DEST
DEST	1		1		1	
N DEST	-0,22524 (p=0,3027) ns	1	-0,32815 (p= 0,1464) ns	1	-0,15819 (p= 0,4934) ns	1

ns= não significativo; dest= destrutivo; n dest= não destrutivo.

3.3.2 *I. sessilis*

Na avaliação destrutiva realizada no início do período de déficit hídrico, houve diferença (Figura 4) entre os tratamentos impostos ($p < 0,05$), em que mudas submetidas a flexões caulinares corresponderam às menores médias de umidade do caule. Em mudas com a aplicação do fitorregulador não foram detectadas divergências com as mudas controle, apresentando médias de 37,8 e 42,4% respectivamente.

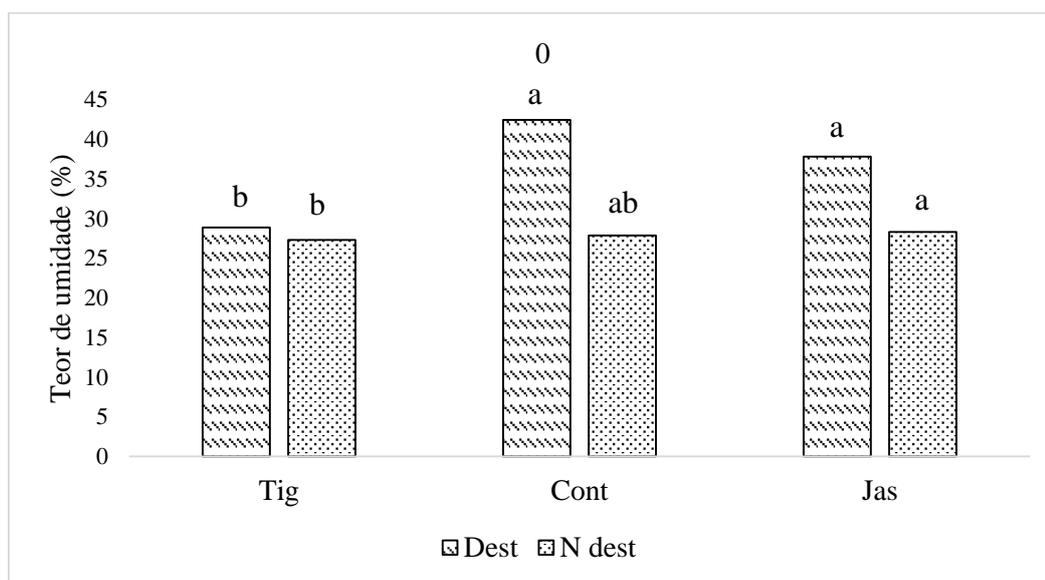


Figura 4. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos sob tempo zero de restrição hídrica.

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, para cada método avaliativo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig= tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont= controle; Jas= pulverização com metil jasmonato; n dest= método não-destrutivo; dest= método destrutivo.

Fonte: BRAZ et al. (2019).

Os tratamentos rustificativos não resultaram em diferenças entre si ($p > 0,05$) quanto ao teor de umidade do caule, determinado por meio do método não destrutivo. A avaliação destrutiva indicou que o metil jasmonato foi eficiente em manter maior teor de umidade em relação aos demais tratamentos que, por sua vez, não diferiram entre si, aos 15 dias de restrição hídrica (Figura 5).

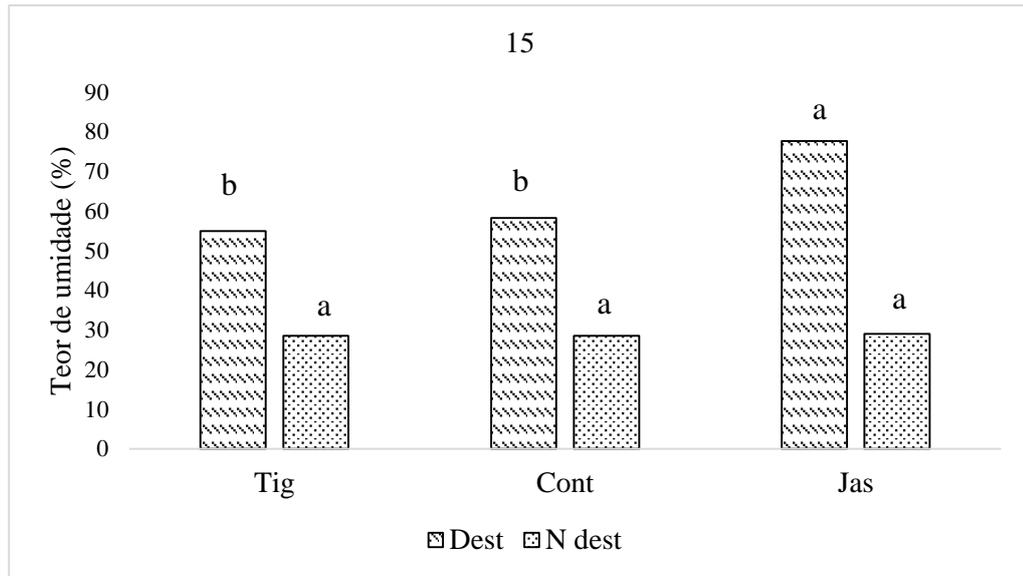


Figura 5. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos sob quinze dias de restrição hídrica.

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, para cada método avaliativo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig= tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont= controle; Jas= pulverização com metil jasmonato; n dest= método não-destrutivo; dest= método destrutivo.

Fonte: BRAZ et al. (2019).

Aos trinta dias de restrição hídrica (Figura 6), ambos os métodos de avaliação indicaram que a menor média correspondeu às mudas controle, enquanto que a rustificação, independente do estímulo (químico ou mecânico), assegurou maior umidade do caule para esta espécie.

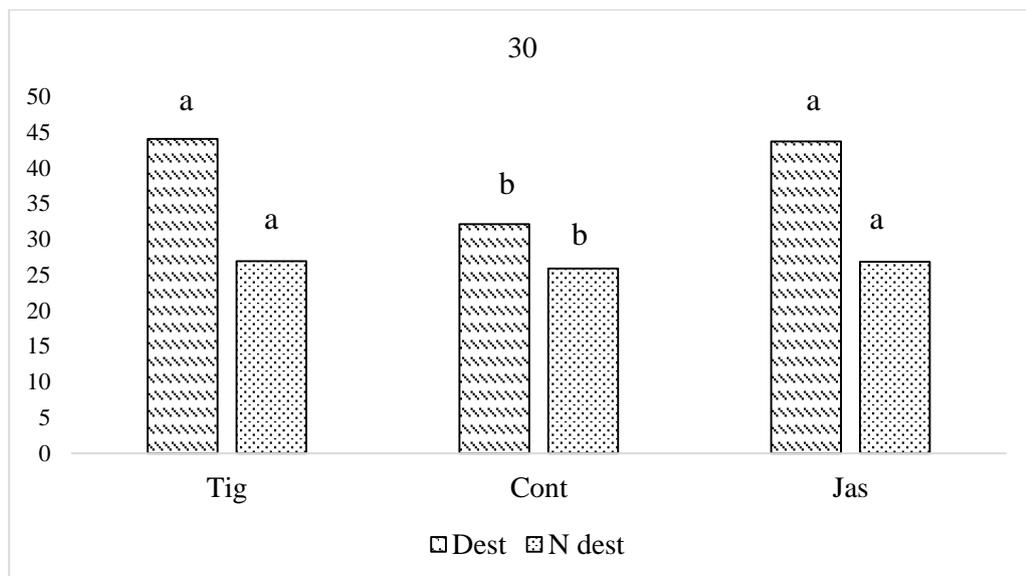


Figura 6. Metodologia destrutiva e não-destrutiva para determinação de umidade do caule de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos sob trinta dias de restrição hídrica.

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, para cada método avaliativo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Tig= tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont= controle; Jas= pulverização com metil jasmonato; n dest= método não-destrutivo; dest= método destrutivo.

Fonte: BRAZ et al. (2019).

Reiterando resultados da análise de variância, foi detectada (Tabela 2), ainda que significativa ($p < 0,05$), baixa correlação entre os três períodos de avaliação de déficit hídrico (média de 51,66%). Os resultados oriundos do método alternativo (Homis) não expressam os valores obtidos através do método gravimétrico e, portanto, não é indicado em mudas da espécie utilizada.

Tabela 2. Coeficiente de Correlação de Pearson entre métodos para determinação do teor de umidade em caules de mudas de *I. sessilis* em função do período de déficit hídrico.

Table 2. Pearson correlation coefficient between methods for determination of stem moisture content in *I. sessilis* seedlings in function of water deficit period.

	0		15		30	
	DEST	N DEST	DEST	N DEST	DEST	N DEST
DEST	1		1		1	
N DEST	0,476897 ($p=0,0288$)*	1	0,548013 ($p=0,0101$)*	1	0,511426 ($p=0,0178$)*	1

* significativo a 5% de probabilidade de erro; dest= destrutiva, não dest= não destrutiva

A maior umidade do caule quantificada nas mudas rustificadas pode estar relacionada com alterações morfométricas especialmente na massa seca radicular, ou ainda com o teor de lignina, evidenciados por Dranski et al. (2015), Heberle et al. (2018) e Fraga (2017). A lignina é um componente fundamental no transporte da água e possivelmente associa-se \ resistência ao estresse hídrico em vegetais lenhosos (MALAVASI et al., 2016b).

A redução da permeabilidade e porosidade das células, em função da deposição deste componente na parede celular, aumenta a rigidez e possibilita maior fluidez na condução de água e sais. Deste modo, confere maior resistência das plantas ao embolismo, que é causa de mortalidade de mudas em condições de restrição hídrica severa (HERBETTE et al., 2015).

O tecido lenhoso oferece uma alta resistência à passagem de corrente elétrica. Entretanto, a variação no teor de umidade altera a sua característica de isolante elétrico estabelecendo uma relação inversamente proporcional, em que, quanto maior o teor de umidade, menor será a sua resistência. Esta característica pode ser considerada intrínseca à quase todos os tipos de lenho (GANN, 2019).

Para se determinar o teor de umidade a partir da sua resistividade, é preciso utilizar aparelhos que se caracterizam pela presença de agulhas, também chamados de eletrodos, que

devem ser introduzidos no tecido lenhoso. De acordo com Gann (2019), as agulhas devem penetrar aproximadamente $\frac{1}{4}$ da espessura da amostra para minimizar questões relativas ao gradiente de umidade. Entretanto, deve-se ter em consideração que a resistência à passagem de corrente elétrica varia de acordo com a espécie, temperatura, a posição dos eletrodos em direção às fibras e a profundidade de penetração destes no tecido lenhoso.

Batista et al. (2011) constataram melhores correlações dos tratamentos os quais utilizaram eletrodos correspondentes a $\frac{1}{2}$ da espessura das peças, e no que se refere à orientação, a inserção perpendicular dos eletrodos às fibras demonstrou maior convergência ao método tradicional de quantificação de umidade. Contudo, devido ao menor diâmetro, a utilização de mudas como material de prova não permite outra orientação para fixar o eletrodo que não seja paralelo às fibras, podendo contribuir com a baixa compatibilidade com o método gravimétrico, uma vez que os autores citados obtiveram correlações negativas para esta direção.

Isto posto, ainda que seja identificado como não-destrutivo, este método é frequentemente considerado invasivo, visto que a inserção de dois ou mais eletrodos causa danos aos tecidos no caule. Ademais, o conteúdo da célula é liberado no apoplasto durante a inserção, o que é considerado por alguns autores como causador de erro adicional, e a resposta da lesão do caule à instalação do material pode desestabilizar o sensor (HOLBROOK et al., 1992; MADURAPPERUMA et al., 2009). Além disso, no material lenhoso o alburno pode ser transformado em cerne não-funcional ao redor dos furos (LU et al., 2002; NADLER et al., 2003; WULLSCHLEGER et al., 1997).

Diferentemente da água pura, o conteúdo iônico da água afeta a condutividade elétrica (HOLBROOK et al., 1992) e, para minimizar a indução ao erro pelos solutos na água, a frequência de medição deve ser maior que 30MHz (PALTINEANU; STARR, 1997) até 100MHz (GASKIN; MILLER, 1996). Para o presente estudo, a frequência de medição do sensor utilizado foi de 100 MHz.

Donato et al (2014) observaram baixa correlação entre métodos capacitivos e resistivos, e o método gravimétrico da ABNT. Estes autores constataram que, apesar de o medidor elétrico capacitivo ter se aproximado mais da umidade média obtida pelo método da ABNT do que o medidor resistivo, este último teve maior correlação, devido à maior homogeneidade de seus resultados. Cabe ressaltar que tais medidores foram desenvolvidos para aferir teor de umidade em madeira serrada, não tendo sido encontrado registro na literatura de seu uso para madeira em tora ou em mudas.

Por tratar-se de métodos distintos e desenvolvidos para distintas finalidades, é previsto que apresentem resultados divergentes. Portanto, os mesmos autores estabeleceram fator de

correção e modelo de regressão e observaram bons ajustes para o método resistivo de determinação de umidade, ressaltando o segundo apresentado como o mais adequado, que além de corrigir a diferença entre o método alternativo e o tradicional, também corrige a diferença média entre os valores obtidos pela diferença de diâmetro, sendo os dois parâmetros da regressão.

3.4 CONCLUSÕES

A determinação do teor de água em caules de mudas de *N. grandiflora*, assim como de *I. sessilis*, mediante o método resistivo, não apresentou resultados que possam substituir o método gravimétrico tradicional.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, C.D.; MACALADY, A.K.; CHENCHOUNI, H.; BACHELET, D.; McDOWELL, N.A. Global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v.259, p.660-684, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14929: madeira: determinação da umidade da madeira. Rio de Janeiro, 2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**: Guia de identificação e interesse ecológico, Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2 ed, 2009, 332p.

BATISTA, W. R.; SANTOS, J. E. G.; SEVERO, E. T. D.; KLAR, A. E. Calibração de um equipamento TDR (reflectometria por domínio do tempo) para a determinação da umidade da madeira de *Grevillea robusta* (Cunn.). **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 129-145, 2011.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. M.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L. MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO, E. T. D.; SANTOS, J. E. G.; RIBAS, C. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 71-78, 2006.

CARREIRA, M. R.; CHEUNG, A.B.; F. OLIVEIRA, G.R.; DIAS, A. A.; CALIL JÚNIOR, C.; SALES, A.; CANDIAN, M. **Classificação de peças estruturais de *Pinus sp* por ultrassom**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010, 644p.

COLLI, S. Outros Reguladores: brassinosteróides, poliaminas, ácidos jasmônico e salicílico. In: KERBAUY, G. B (ed). **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012, p. 337-338.

CRISÓSTOMO, M. C.; GOUVEIA, F. N.; COSTA, A. F.; Relação entre o teor de umidade e a constante dielétrica de espécies de madeira da Amazônia durante o processo de secagem. **Revista Árvore**, vol. 40, núm. 1, p. 181-187, 2016.

DONATO, B. D.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. L. M.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA, C. J. Determinação da umidade da madeira em tora por diferentes métodos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 449-453, 2014.

DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n.5, p. 905-913, 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRAGA, D. A. C. **Rustificação de mudas de *Cordia trichotoma* e *Tabebuia roseo-alba* por jasmonatos e flexões caulinares**. 2017. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

GANN – **Medidores elétricos de umidade de madeira**. Disponível em http://www.gann.de/download/IN_HOLZFEUCHTE_PT.pdf> Acesso em 12 abr. 2019

GASKIN, G. C.; MILLER, J. D. Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 63, p-153-160, 1996.

HEBERLE, K.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Morfometria e lignificação em função de aplicação de ácido jasmônico em mudas de ipê-roxo e guajuvira. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n.3, p-317-325, 2018.

HERBETTE, S.; BOUCHET, B.; BRUNEL, N.; BONNIN, E.; COCHARD, H.; GUILLON, F. Immunolabelling of intervessel pits for polysaccharides and lignin helps in understanding their hydraulic properties in *Populus tremula* x *alba*. **Annals of Botany**, v.115, p.187–199, 2015.

HOLBROOK, N. M.; BURNS, M. J.; SINCLAIR, T. R. Frequency and time-domain dielectric measurements of stem water content in the arborescent palm *Sabal palmetto*. **Journal of Experimental Botany**, v. 43, p-111-119, 1992.

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2018.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Hardening. In: DUMROESE, R.K.; LUNA, T.; LANDIS, T.D. (Eds.). **Nursery manual for native plants: Guide for tribal nurseries**. v.1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, p.217-228, 2009.

JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v. 114, n. 2, p.143-156. 1973.

JANKOWSKY, I. P. Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada. Piracicaba: IPEF, 2000. (IPEF. Circular técnica,191).

JOSLIN, A.H.; MARKEWITZ, D.; MORRIS, L.A.; OLIVEIRA, F.A.; FIGUEIREDO, R.O.; KATO, O.R. Five native tree species and manioc under slash-and-mulch agroforestry in the eastern Amazon of Brazil: plant growth and soil responses. **Agroforestry Systems**, v.81, n.1, p.1-14, 2011.

LEITE, E.R.S. Estimation of the dynamic properties of wood from *Copaifera langsdorffii* Desfusing resonance analysis. **Revista Cerne**. vol. 18 n.1, 2012.

LOJKA, B.; PREININGER, D.; VAN-DAMME, P.; ROLLO, A.; BANOUT, J. Use of the Amazonian tree species *Inga edulis* for soil regeneration and weed control. **Journal of Tropical Forest Science**, v.24, n.1, p.89-101, 2012.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009.

LU, P.; WOO, K.; LIU, Z. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, p-1771,1779, 2002.

MADURAPPERUMA, W. S.; BLEBYB, T. M.; BURGESS, S.S.O. Evaluation of sap flow methods to determine water use by cultivated palms. **Environmental and Experimental Botany**. v. 66, p-372-380, 2009.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVASI, M. M. Estimating water in living woody stems: a review. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 415-422, 2016a.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVASI, M. M. Lignin in woody plants under water stress: a review. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 589-597, 2016b.

MATOS, F. S.; TORRES JUNIOR, H. D.; ROSA, V, R.; SANTOS, P. G. F. BORGES, L. F. O.; RIBEIRO, R. R.; NEVES, T. G.; CRUVINEL, C. K. L. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 19 - 27, 2014.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira: manual didático**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2005. 168 p.

NADLER, A.; RAVEH, E.; YERMIYAHU, U.; GREEN, S. R. Evaluation of TDR use to monitor water content in stem of lemon trees and soil and their response to water stress. **Soil Science Society of America Journal**. v. 67, p. 437-448, 2003.

ORO, P.; VOLKWEIS, R. C.; NEIVERTH W.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Aplicação de regulador vegetal na aclimatação de mudas de *Cariniana estrellensi*. **Cultivando o Saber**, v.5, n.4, p.103-112, 2011.

PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of Americal Journal**. v. 61, p.-1576-1585, 1997.

PERÄMÄKI, M.; VESALA, T.; NIKINMAA, E. Modeling the dynamics of pressure propagation and diameter variation in tree sapwood, **Tree Physiology**, v. 25, n.9, p.1091-1099, 2005.

TURCHETTO, F.; PEDROSO FILHO, J. I.; SCHORN, L. A.; BERTGHETTI, A. L. P.; GRÍEBELER, A. M. Planejamento de viveiros florestais. In: ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. Produção de sementes e mudas: um enfoque à silvicultura. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018, p. 145-165

VOLKWEIS, R. C.; DRANSKI, J. A. L.; ORO, P.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad) Planch. **Ciência Florestal**, v.24, n.2, p.339-342, 2014.

WULLSCHLEGER, S. D.; MEINZER, I. F. C.; VERTESSY, R. A. A review of whole-plant water use studies in trees. **Tree Physiology**, v. 18, p. 499-512, 1997.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não foi constatada uma relação que assegure a veracidade nos resultados obtidos pelo método não-destrutivo, impossibilitando a substituição do método gravimétrico, para ambas espécies avaliadas. Desta forma, estabelecer uma equação adequada que ajuste os resultados entre as avaliações pode ser uma possibilidade de utilização do aparelho resistivo. Porém, é notável a demanda de estudos que investiguem a confiabilidade, ou ainda, desenvolvam e adequem técnicas que expressem com exatidão o teor de água em caules lenhosos de tamanho reduzido.

Ainda, os estímulos mecânicos proporcionaram às mudas de *N. grandiflora* menor emissão de novas raízes, e menor massa seca de folhas e incremento em altura, aos trinta dias sob déficit hídrico. A pulverização com o metil jasmonato não externou diferenças do tratamento controle para estes parâmetros. Assim, a rustificação de mudas mediante flexões caulinares não é recomendada para espécie *N. grandiflora*.

Para mudas de *I. sessilis*, até o décimo quinto dia de restrição hídrica, ambos estímulos não diferiram do tratamento controle para variável área foliar. No entanto, o estímulo mecânico apresentou menores valores em relação ao químico. Ainda, o estímulo mecânico conferiu menor extravasamento de íons do tecido radicular.

Além disso, sob trinta dias de déficit hídrico, tanto a aplicação do metil jasmonato como as flexões caulinares conferiram às mudas menor área foliar. A aplicação do fitorregulador reduziu a massa seca do caule e de raiz em relação ao tratamento controle.

A modulação das características morfo-fisiológicas observadas em mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis* expõe a particularidade de cada espécie a reagir a estímulos rustificativos químicos e mecânicos, uma vez que as alterações observadas no presente estudo divergiram das espécies reportadas na literatura, e não foram expressivamente relevantes.

Adicionalmente, a concentração do regulador vegetal ou o período de rustificação não foi suficiente para promover aumento no diâmetro do coleto e redução na altura, parâmetros que expressam a qualidade de mudas que pressupõem maior sobrevivência pós-plantio sob condições estressantes a campo.

Diante do exposto, fica evidente a dificuldade em estabelecer um padrão de práticas que promovam a rusticidade e culminem em mudas mais robustas para todas as espécies, fazendo-se necessário estudos específicos nesse âmbito.