

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA NÍVEL
MESTRADO E DOUTORADO

CÁTIA RAQUEL VOLKWEIS

ESTÍMULO MECÂNICO NA MORFOMETRIA EM MUDAS DE *Enterolobium*
***contortisiliquum* (Vell.) Morong**

Marechal Cândido Rondon
2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA NÍVEL
MESTRADO E DOUTORADO

CÁTIA RAQUEL VOLKWEIS

ESTÍMULO MECÂNICO NA MORFOMETRIA EM MUDAS DE *Enterolobium*
***contortisiliquum* (Vell.) Morong**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia Nível Mestrado e Doutorado, Área de Concentração Produção Vegetal, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Dr. Ubirajara Contro Malavasi.

Co-Orientador: Dr^a. Marlene de Matos Malavasi

Marechal Cândido Rondon
2012

Folha de Aprovação (CÓPIA DA ATA DE DEFESA NA SECRETARIA DO PROGRAMA)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO E DOUTORADO

CÁTIA RAQUEL VOLKWEIS

ESTÍMULO MECÂNICO NA MORFOMETRIA EM MUDAS DE *Enterolobium*
***contortisiliquum* (Vell.) Morong**

Dissertação apresentada como pré-requisito de conclusão de curso de
Mestrado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Marechal Cândido Rondon, ____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele, nada seria possível, por permitir a realização de mais uma conquista em minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia Nível Mestrado e Doutorado e aos professores pelos conhecimentos passados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi e a minha Co-Orientadora Prof^a. Dr^a. Marlene de Matos Malavasi pelos conhecimentos passados.

A todos os meus colegas que sempre que possível ajudaram na realização do meu trabalho, em especial ao João, Luiz, Viviane, Deisi e Priscilla.

Aos meus pais Elói Volkweis e Bernadete Backes Volkweis agradeço pelo amor, apoio e confiança dedicados em mim. As minhas irmãs Keila e Karin agradeço pelo incentivo que sempre me deram.

Ao meu Noivo e companheiro Rodrigo Mentges pelo apoio, paciência e incentivo nos momentos mais difíceis sempre me apoiando e ajudando no que fosse possível.

Obrigada!

ESTÍMULO MECÂNICO NA MORFOMETRIA EM MUDAS DE *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong

RESUMO: O presente trabalho objetivou quantificar os efeitos induzidos por estímulos mecânicos sobre a qualidade de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Os tratamentos compreenderam cinco intensidades de estímulo mecânico (0, 5, 10, 20 e 40 flexões) efetuados diariamente durante trinta dias. Os estímulos mecânicos foram iniciados em 20 de dezembro de 2011. Efetuados por meio da passagem em sentido único de uma estrutura composta por uma barra de cano de PVC, disposta horizontalmente e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos. Ao final do período de imposição dos tratamentos avaliou-se a qualidade da muda por meio dos incrementos na altura da parte aérea (H) e no do diâmetro do coleto (C), assim como quantificou-se a massa seca da raiz (MSR), da folha (MSF) e da parte aérea (MSPA), e calculou-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), razão área foliar (RAF), razão peso de folha (RPF) e procedeu-se a determinação da perda de eletrólitos de raízes (PER). Todas as quantificações foram executadas de quatro repetições de 5 mudas por tratamento. Nesta fase, o ensaio foi conduzido de acordo com um delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Em 20 de janeiro de 2012, após o término dos tratamentos, parte das mudas do tratamento controle e das mudas submetidas a 20 flexões diárias foram transplantadas para vasos com capacidade de 5 litros preenchidos com areia de granulometria 2 mm e mantidos em casa-de-vegetação por 39 dias sob restrição hídrica. Nesta fase, adotou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo fatorial (2 x 14) composto por duas intensidades de estímulos mecânicos e treze avaliações no tempo com quatro repetições de cinco mudas. Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio software estatístico SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007) e posteriormente, submetidos à análise de regressão linear a 5% de probabilidade. Mudas de tamboril-da-mata submetidas à estímulos mecânicos por 30 dias na fase de rustificação submetidas a 20 estímulos mecânicos diários externaram valores das variáveis morfométricas e do teste da perda de eletrólitos indicativos de uma maior qualidade da muda em relação a mudas não estressadas mecanicamente, porém, sem maior resistência ao déficit hídrico pós plantio.

Palavras-chave: tamboril-da-mata; qualidade de mudas; tigmomorfogênese; perda de eletrólito das raízes.

MECHANICAL STIMULUS AS INDICATOR OF QUALITY SEEDLINGS

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong

ABSTRACT: This study aimed to quantify the effects induced by mechanical stimuli on the quality of seedlings *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Treatments include five intensities of mechanical stimulation (0, 5, 10, 20 and 40 pushups) made daily for thirty days. The mechanical stimuli were initiated on December 20, 2011. Made by one-way passage of a structure composed by a bar PVC pipe arranged horizontally and secured on a metal frame with bearings. At the end of the imposition of the treatments evaluated the quality of the changes through increases in shoot height (H) and stem diameter (C) and quantified to root dry mass (RDM), leaf (MSF) and (MSPA), and calculated the absolute growth rate (AGR), leaf area (LA), specific leaf area (SLA), leaf area ratio (LAR), weight of sheet (RPF) and proceeded to determine the loss of electrolytes from roots (PER). All measurements were performed in four replicates of five seedlings per treatment. At this stage, the test was conducted according to a completely randomized design with four replications. On January 20, 2012, after the end of treatments, some of the seedlings of treatment and control of seedlings to 20 pushups daily were transplanted to pots with a capacity of 5 liters filled with sand grain size of 2 mm and kept in en-vegetation for 39 days under water restriction. At this stage, we adopted the design of randomized blocks in a factorial arrangement (2 x 14) composed of two intensities of mechanical stimuli and thirteen evaluations on time with four replicates of five seedlings. Data were subjected to analysis of variance with the help SISVAR 5.0 statistical software (FERREIRA, 2007) and subsequently analyzed by linear regression at 5% probability. Seedlings monkfish-the-woods submitted to mechanical stimuli for 30 days during hardening subjected to 20 mechanical stimuli voiced daily values of morphometric variables and test the loss of electrolytes indicative of a higher quality changes over seedlings not mechanically stressed But without greater resistance to drought after planting.

Key-words: tamboril-da-mata; seedling quality; tigmomorfogênese, loss of electrolyte from the roots.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura desenvolvida para a realização dos estímulos mecânicos que foi adaptada de Jacobs e Landis (2009).....	19
Figura 2: Incremento em altura (IH) da parte aérea em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	23
Figura 3: Massa seca da parte aérea (MSPA) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	25
Figura 4: Massa seca da raiz (MSR) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	25
Figura 5: Taxa de crescimento absoluto (TCA) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. Significativo a 5% de probabilidade.....	27
Figura 6: Área foliar em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	28
Figura 7: Razão de área foliar (RAF) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	29
Figura 8: Área foliar específica (AFE) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	30
Figura 9: Razão peso de folhas (RPF) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.....	31
Figura 10: Perda de eletrólitos das raízes (PER) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. ** Significativo a 1% de probabilidade.....	32
Figura 11: Temperatura e umidade relativa do ar média por horário ao longo do dia no ambiente propagativo de 20/01 a 25/02 de 2012.....	33

Figura 12: Teor de água do substrato durante a permanência das mudas de tamboril-da-mata sob restrição hídrica de 20/01 a 25/02 de 2012.....34

Figura 13: Porcentagem de mudas de timboril-da-mata sem sintomas de deficiência hídrica dias após o transplante. ** Significativo a 1% de probabilidade.....35

LISTA DE ABREVIATURAS

IH- Incremento na altura da parte aérea

IC- Incremento no diâmetro do coleto

PER- Perda de eletrólitos das raízes

N- Nitrogênio

P- Fósforo

K- Potássio

MSR- Massa seca da raiz

MSPA- Massa seca da parte aérea

TCA- Taxa de crescimento absoluto

AF- Área foliar

AFE- Área foliar específica

RAF- Razão de área foliar

RPF- Razão peso de folha

SUMÁRIO

RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE ABREVIATURAS.....	
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 ESPÉCIE UTILIZADA.....	13
2.2 ESTÍMULO MECÂNICO.....	14
2.3 QUALIDADE DAS MUDAS.....	15
2.4 PARÂMETROS QUE DETERMINAM A QUALIDADE DAS MUDAS.....	16
2.4.1 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS.....	16
2.4.2 PARÂMETROS FISIOLÓGICOS.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS	42

1 INTRODUÇÃO

O êxito na formação de povoamentos florestais com alta produtividade está relacionado com a qualidade das mudas que devem resistir às condições adversas do pós-plantio e produzir indivíduos com crescimento volumétrico desejável (GOMES et al., 1991).

Visando à produção de espécies nativas que apresentem potencial para recuperação de áreas alteradas busca-se primeiramente, mudas de qualidade a partir da análise de desenvolvimento sob diferentes condições (SAIDELLES et al., 2009).

Os parâmetros morfológicos são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas (CARNEIRO, 1995). No entanto, ainda são necessárias definições mais concretas para responder às exigências, quanto à sobrevivência e ao crescimento diante das adversidades encontradas no campo após o plantio (GOMES et al., 2002).

Uma das formas encontradas para propiciar maior rusticidade é a utilização de sensações mecânicas (toques, flexões, vibrações), com a finalidade de alterar os padrões de crescimento (COUTAND et al., 2008). Na natureza esses padrões resultam da ação do vento, da neve, da passagem de animais entre as mudas, e da fricção com outras plantas (ESSEN, 1994; MUNISHI e CHAMSHAMA, 1994; GUO 1999; PELTOLA et al., 2000).

Jaffe (1973) conceituou a tigmomorfogênese como a resposta de plantas a sensação mecânica (toque) com alterações nos padrões de crescimento com diminuição do crescimento em altura, e maior crescimento do diâmetro do coleto, e diminuição da área foliar. Telewski e Pruyn (1998) induziram aquelas alterações com a movimentação de uma barra sobre a folhagem de mudas de *Ulmus americano* proporcionando uma flexão da parte aérea e movimentação da área foliar.

A aclimação das mudas através da tigmomorfogênese pode minimizar perdas (mortalidade) pela ocorrência de vento, chuva ou granizo após o plantio (CLOSE et al., 2005).

Algumas alterações relacionadas com a tigmomorfogênese podem causar tanto o fortalecimento como o relaxamento do tecido perturbado, ambas podendo ajudar a planta a lidar ou a resistir com aos estímulos mecânicos (TELEWSKI e JAFFE, 1986).

Plantas sem as células sensoriais especializadas também respondem a perturbações mecânicas. No entanto, esses vegetais reagem lentamente ao longo do tempo, alterando sua morfologia, bem como sua taxa de crescimento (CHEHAB et al., 2009). Além das alterações no crescimento e no diâmetro do coleto, outras respostas também podem ser observadas com a tigmomorfogênese, como alterações no conteúdo de clorofila, nos níveis hormonais, no

estresse biótico e abiótico, no tempo de floração, na senescência e na abertura estomática (BIDDINGTON, 1986).

Os tecidos jovens têm uma resposta mais forte a tigmomorfogênese do que os mais velhos (BIDDINGTON, 1986). A possível explicação é que os tecidos jovens podem ser mais frágeis e suscetíveis ao estresse e, portanto, devem responder fortemente para sobreviver durante estímulos ambientais (CHEHAB et al., 2009).

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong é uma espécie considerada como pioneira em formações secundárias, que apresenta grande potencial para recuperação de áreas alteradas (SAIDELLES et al., 2009).

O presente trabalho objetivou quantificar os efeitos induzidos por estímulos mecânicos sobre a qualidade de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Espécie Utilizada

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong Angiosperma - Fabaceae – Mimosoideae – (Leguminosae), conhecida popularmente como tamboril-da-mata (RNC 24024), é uma árvore com altura de 20-35 m e diâmetro de tronco de 80-160 cm. A espécie apresenta folhas alternas espiraladas, estipuladas, compostas bipinadas, com flores brancas, dispostas em umbelas axilares e seus frutos são do tipo vagem negra, contorcida e indeiscente, com sementes duras e amareladas (LORENZI, 2008).

A ocorrência da espécie abrange desde o Pará, Maranhão e Piauí até o Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, na floresta pluvial e semidecídua, sendo mais frequente nas florestas latifoliada semidecídua da bacia do Paraná (LORENZI, 2008).

A espécie apresenta madeira leve, utilizada na fabricação de barcos e canoas, brinquedos, armações de móveis e caixotaria em geral sendo recomendada para reflorestamento de áreas degradadas de preservação em plantio misto, devido ao seu rápido crescimento inicial (LORENZI, 2008).

A espécie é decídua no inverno, heliófila, pioneira, dispersa em várias formações florestais, e não produz sementes todos os anos. Florescendo a partir de setembro até novembro, a maturação dos frutos ocorre durante os meses de junho e julho. Os frutos devem ser colhidos diretamente da árvore quando iniciarem a queda espontânea, levados ao sol para secar facilitando sua abertura para a retirada das sementes (LORENZI, 2008).

Sementes viáveis de tamboril da mata não germinam mesmo quando os fatores externos necessários ao processo de germinação (luz, água, oxigênio) são favoráveis; neste caso, elas são ditas dormentes, com multiplicação lenta e desuniforme devido a esse mecanismo (EIRA et al., 1993).

A espécie é pouco exigente quanto às características do solo, de crescimento rápido, sendo empregada, por isso, em florestamentos e reflorestamentos, atendendo a inúmeros objetivos que envolvem do paisagismo à recuperação de áreas degradadas (LIMA et al., 2009).

2.2 Estímulo mecânico

Os locais onde as mudas são transplantadas podem abranger uma gama de condições climáticas. Assim, o choque do transplante é frequentemente usado para descrever um conjunto de respostas visuais ao crescimento (CLOSE et al., 2005).

A rustificação, também conceituada como “endurecimento” de mudas é o conjunto de práticas que objetiva induzir nas mudas maior resistência aos estresses advindos do transporte, manejo, plantio e pós-plantio (JACOBS e LANDIS, 2009).

Na rustificação, boa parte da energia destinada ao crescimento da parte aérea é direcionada ao desenvolvimento do sistema radicular, acarretando no engrossamento e no aumento da biomassa das raízes, servindo como órgão de armazenamento de fotossintetatos que serão utilizados para o estabelecimento e crescimento após o plantio (CARNEIRO, 1995; JACOBS e LANDIS, 2009).

No viveiro as mudas estão protegidas do vento, mas após o plantio as mudas devem estar preparadas para suportar adversidades, causadas pelo vento, mas também por neve, gelo ou chuva. Além da falta de aclimação ao vento, o risco do caule quebrar é agravado se as mudas apresentarem altura desproporcional ao sistema radicular (ESSEN, 1994; MUNISHI e CHAMASHAMA, 1994; GUO, 1999; PELTOLA et al., 2000).

Embora não se tenha determinado se a intensidade da resposta ao estímulo mecânico varia dentro ou entre espécies vegetais, especula-se que as plantas adaptadas a ambientes sujeitos ao vento vão expressar uma resposta maior aos estímulos mecânicos do que outras não adaptadas a tais regiões (TELEWISKI e PRUYN, 1998).

A tigmomorfogênese pode resultar não apenas em resposta ao estresse mecânico aplicado externamente que resulta em uma tensão. O crescimento das plantas pode ser suficiente para causar mudanças tigmomorfogenéticas, talvez pelo aumento de peso provocado por tensão do tecido (BRAAM, 2004).

Os poucos estudos sobre tigmomorfogênese em herbáceas anuais e mudas de espécies lenhosas indicam que as mudas apresentam respostas relativamente grandes a doses baixas de flexão artificial ou vento (JAFFE, 1980; TELEWISKI e JAFFE, 1986 *a, b*).

2.3 Qualidade das Mudanças

Uma das preocupações que norteia a produção de mudas de espécies florestais é a obtenção de mudas de boa qualidade para o plantio a campo, no menor espaço de tempo possível (GUERRA et al., 1982).

O conceito de qualidade não pode ser absoluto, pois fatores como a espécie e o lugar do plantio das mudas influenciam na qualidade. Uma muda de boa qualidade para uma determinada região pode não ser apropriada para outra (SILVA, 2003).

Para Lopes (2004), a qualidade de uma muda é definida em função da condução adotada no viveiro, e o seu plantio no campo deve assegurar as condições para que as mudas se desenvolvam adequadamente.

A qualidade das mudas é fundamental, pois influencia na percentagem de sobrevivência, na velocidade de crescimento e conseqüentemente no sucesso do plantio (MORGADO et al., 2000).

Os problemas relacionados com a produção de mudas, ainda no viveiro, têm sido uma das principais causas de sua mortalidade no campo, representando mortalidade de 20% até o sétimo ano (LOPES, 2005).

Um dos principais problemas dos viveiros produtores de mudas de espécies florestais é determinar quais fatores, alteram a sobrevivência e o desenvolvimento inicial das mudas no campo e quais as características da planta que se correlacionam melhor com essas variáveis (FONSECA et al., 2002). Carneiro (1995) mencionou parâmetros como altura, diâmetro do colo, peso seco da parte aérea e radicular e peso seco total para determinar a qualidade das mudas.

A altura da parte aérea combinada com o diâmetro do coleto constitui um dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das mudas após o plantio definitivo no campo (CARNEIRO, 1995).

A obtenção de mudas de qualidade antes do plantio definitivo é importante para o silvicultor, e isto pode ser alcançado de maneira prática, rápida e fácil, observando-se parâmetros morfológicos. Os atributos das mudas, necessários para obtenção do sucesso do plantio no campo, têm sido denominados de “qualidade de muda” (FONSECA et al., 2002).

2.4 Parâmetros que determinam a qualidade das mudas

De acordo com Carneiro (1983) critérios para a classificação da qualidade das mudas baseiam-se fundamentalmente em:

- Aumento do percentual de sobrevivência das mudas, após o plantio;
- Diminuição da frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém-implantado.

O aumento da percentagem de sobrevivência decorre do uso de mudas de melhor padrão de qualidade. Algumas vezes o replantio torna-se dispensável, dada a pequena taxa de mortalidade que é verificada, mesmo meses após o plantio (CARNEIRO, 1995).

Quando a sobrevivência não alcança índices aceitáveis, o replantio torna-se necessário, devendo sempre ser levado em conta que a operação de replantio é bastante onerosa (CARNEIRO, 1995).

O padrão de qualidade de mudas varia entre espécies e, para uma mesma espécie. O objetivo é atingir uma qualidade em que as mudas apresentem características que possam oferecer resistência às condições adversas que poderão ocorrer posteriormente, mesmo tendo sido o plantio efetuado em período de condições favoráveis (CARNEIRO, 1995).

Apesar de o êxito dos povoamentos florestais dependerem, em grande parte, das mudas utilizadas, a escolha dos parâmetros que avaliam a sua qualidade ainda é de grande importância (GOMES et al., 2002).

2.4.1 Parâmetros morfológicos

São atributos determinados física ou visualmente, devendo ser ressaltado que algumas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de mostrar que os critérios que adotam essas características são importantes para o sucesso do desempenho das mudas após o plantio no campo (FONSECA, 2000).

Os parâmetros morfológicos são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas, tendo uma compreensão mais intuitiva por parte dos viveiristas, mas ainda carente de uma definição mais acertada para responder às exigências quanto à sobrevivência e ao crescimento, determinadas pelas adversidades encontradas no campo após o plantio (GOMES et al., 2002).

Parâmetros morfológicos, tais como: altura da parte aérea, o diâmetro do colo, a área foliar, biomassa seca do sistema radicular e a biomassa seca da parte aérea, são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas (BINOTTO, 2007).

A produção de mudas com características específicas visa uma maior uniformização de crescimento, tanto da altura como do sistema radicular, promovendo após plantio, maior resistências às condições adversas encontradas no campo (GOMES, 2002).

A qualidade das mudas garantirá o sucesso do plantio, assim como um menor índice de mortalidade e, conseqüentemente, de replantio (SILVA et al., 2002).

2.4.2 Parâmetros Fisiológicos

Carneiro (1995) ressaltou a importância das raízes, pois elas estão intimamente associadas às atividades fisiológicas das quais dependem o crescimento das mudas, com o intuito de assegurar maior desempenho no campo.

Dentre os parâmetros fisiológicos usados no estudo do sistema radicular, com o objetivo de avaliar a qualidade fisiológica das mudas está o teste de perda de eletrólitos das raízes (PER).

O teste da perda de eletrólitos das raízes (PER) estimado pela condutividade elétrica possui sua origem nos trabalhos de Wilner (1955,1960). O teste consiste na quantificação de íons extravasados pela membrana celular para a solução. O método pode ser não destrutivo, pois apenas uma pequena amostra de raízes é utilizada na análise.

O sistema radicular se constitui em uma das partes mais frágeis do vegetal, e conseqüentemente, sensível a estresses operacionais e ambientais (TAIZ e ZIEGER, 2004). Portanto, o teste de perda de eletrólitos radiculares (PER) avalia indiretamente a qualidade fisiológica das mudas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon, PR, durante o período de dezembro de 2010 a fevereiro de 2012. As coordenadas geográficas do local são 24° 33' 40" S e 54° 04' 12" O, e 420 metros de altitude. O clima da região segundo classificação de Köppen é classificado como subtropical úmido, com precipitação média anual de 1.500 mm.

Mudas de tamboril-da-mata (RNC 24024) foram produzidas via sementes, coletadas de matrizes sob o domínio da Itaipú Binacional em 2010, sem armazenamento prévio. A semeadura ocorreu em dezembro de 2010. Anteriormente, as sementes foram imersas em ácido sulfúrico concentrado por 15 minutos, para superação da dormência (EIRA et al., 1993).

Para a produção das mudas, utilizou a semeadura direta em tubetes de 120 cm³ acomodados em suportes plásticos com capacidade para 96 tubetes, preenchidos com substrato comercial, e fertilizados com 4 kg m⁻³ da formulação N - P - K (10-10-10), sendo 25% do conteúdo incorporado ao substrato e o restante da formulação aplicado via ferti-irrigação durante o período de produção. Em dezembro de 2011, ou seja, 12 meses após a semeadura, foram selecionadas mudas com altura média de 20 cm e 3 mm de diâmetro do coleto para a implantação dos tratamentos de estímulo mecânico.

Os tratamentos compreenderam cinco intensidades de estímulo mecânico (0, 5, 10, 20 e 40 flexões) efetuados diariamente durante trinta dias. Os estímulos mecânicos foram iniciados em 20 de dezembro de 2011, e efetuados por meio da passagem em sentido único de uma estrutura composta por uma barra de cano de PVC com 25 mm de diâmetro, disposta horizontalmente e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos, que possibilitou o deslocamento da barra sobre a bancada. As mudas foram flexionadas verticalmente não mais do que 45°, mediante a passagem da barra no terço inferior da folhagem, colidindo nas mudas a 5,0 cm da gema apical, movimentos realizados com velocidade de 0,10 m seg⁻¹ uma vez ao dia, pela manhã sempre no mesmo horário (Figura 1).

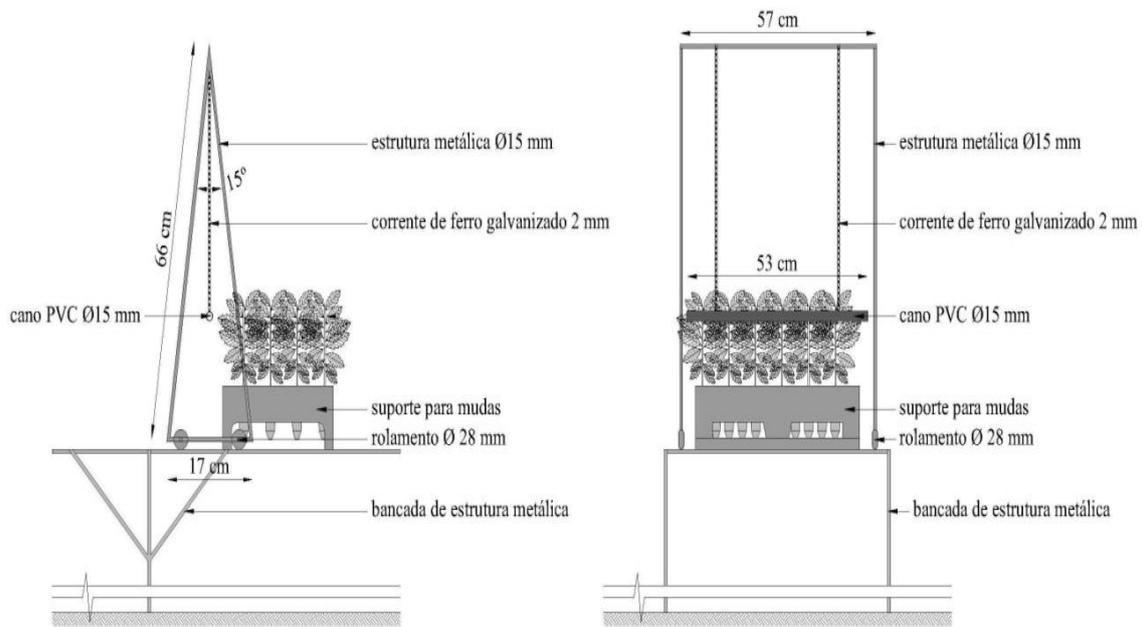


Figura 1:

Estrutura desenvolvida para a realização dos estímulos mecânicos que foi adaptada de Jacobs e Landis (2009).

Ao final do período de imposição dos tratamentos avaliou-se a qualidade da muda por meio dos incrementos na altura da parte aérea (IH) e no do diâmetro do coleto (IC), assim como quantificou-se a massa seca da raiz (MSR), da folha (MSF) e da parte aérea (MSPA), e calculou-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), razão área foliar (RAF), razão peso de folha (RPF) e procedeu-se a determinação da perda de eletrólitos de raízes (PER). Todas as quantificações foram executadas de quatro repetições de 5 mudas por tratamento.

A altura da parte aérea (H) foi obtida com régua graduada (± 1 mm) determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha. O diâmetro do coleto foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital ($\pm 0,1$ mm) obtido da média de duas medidas ortogonais entre si. Os incrementos foram calculados pela diferença entre as medidas pela diferença dos valores obtidos antes e após os tratamentos.

A massa seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA) foram determinadas através do método gravimétrico com secagem em estufa com circulação de ar a 65°C por 72 horas até massa constante. Com os dados de biomassa das mudas antes e após a aplicação dos tratamentos foi possível calcular a taxa de crescimento absoluto (TCA) pela fórmula:

$$TCA = \frac{MST_2 - MST_1}{t_2 - t_1}$$

Em que: TCA: taxa de crescimento absoluto (g dia^{-1}); MST_1 : massa seca total antes dos estímulos mecânicos (g); MST_2 : massa seca final após os estímulos mecânicos (g); $t_2 - t_1$: intervalo de tempo entre as determinações.

A razão peso de folha (RPF) foi obtida a partir dos dados de massa seca da planta (MST) e da massa seca da folha (MSF) utilizando-se para o cálculo a fórmula:

$$RPF = \frac{MSF}{MST}$$

Em que: RPF: razão peso de folha (g g^{-1}); MSF: massa seca da folha (g); MST: massa seca total (g).

Para a determinação da área foliar empregou-se o método dos discos foliares. Contabilizaram-se os folíolos por muda e posteriormente foram utilizados dez discos foliares por muda. Em seguida, os discos foram secos em estufa a 65°C por 72 horas. Utilizou-se para o cálculo da área foliar a seguinte fórmula:

$$AF = \frac{AD \times MSF}{MSD} \times 100$$

Em que: AF: área foliar ($\text{dm}^2 \text{ muda}^{-1}$); AD: área do disco foliar ($\text{cm}^2 \text{ muda}^{-1}$); MSF: massa seca folha (g); MSD: massa seca do disco (g).

Com os dados da área foliar e da massa seca da folha calculou-se a área foliar específica (AFE) que relaciona a superfície da folha (AF) com seu próprio peso (Pf). Para tanto utilizou-se a fórmula:

$$AFE = \frac{AF}{MSF}$$

Em que: AFE: área foliar específica ($\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$); AF: área foliar (dm^2); MSF: massa seca da folha (g).

Em seguida calculou-se a razão de área foliar, (RAF) utilizando os dados da área foliar e da massa seca total da planta, pela fórmula:

$$\text{RAF} = \text{AFT}/\text{MST}$$

Em que: RAF: razão área foliar ($\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$); MST: massa seca total da planta (g); AF: área foliar ($\text{dm}^2 \text{ muda}^{-1}$).

A perda de eletrólitos de raízes (PER) foi executada com base na metodologia descrita por Wilner (1955). O método consistiu na retirada e lavagem do sistema radicular em água corrente para remoção de partículas do solo, seguido de lavagem com água deionizada para remoção de íons nas superfícies. A porção central do sistema radicular foi removida e descartada. Utilizou-se aproximadamente 0,2 g de raízes finas (<2 mm), retiradas do terço superior e acondicionadas em recipientes de vidro, contendo 20 mL de água deionizada, mantidos a temperatura de 20 °C por 24 horas. Após este período, a condutividade elétrica da solução (C_{viva}) foi obtida em condutivímetro termo-compensado e seus valores expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Em seguida, as mesmas raízes foram autoclavadas a 100 °C por 10 minutos e recolocadas em solução renovada nas mesmas condições anteriormente descritas.

A condutividade elétrica da solução (C_{morta}) foi quantificada da mesma maneira da C_{viva} . O valor de PER é resultado da razão: $\text{PER} (\%) = C_{\text{viva}}/ C_{\text{morta}} \times 100$. Um valor baixo de PER indica alta viabilidade dos tecidos radiculares permitindo a absorção de água para amenizar o “choque pós-plantio”.

Nesta fase, o ensaio foi conduzido de acordo com um delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições de cinco mudas para cada tratamento.

Em 20 de janeiro de 2012, após o término dos tratamentos, mudas do tratamento controle e mudas submetidas a 20 flexões diárias foram transplantadas para vasos com capacidade de 5 litros preenchidos com areia de granulometria 2 mm e mantidos em casa-de-vegetação por 39 dias sob restrição hídrica.

No ato do transplântio foi preservada a identidade dos tratamentos, sendo a parcela útil composta por cinco vasos com uma planta por vaso.

O ambiente foi monitorado quanto à temperatura e umidade relativa do ar com um termohigrômetro, cujas leituras foram registradas a cada hora durante 24 horas por todo o período de restrição hídrica (Figura 11). A umidade do substrato foi monitorada a cada dois

dias por meio do teor de água através do método gravimétrico, ou seja, secagem em estufa de 50 cm³ de substrato a 105°C por 24 h (Figura 12). Os vasos sofreram apenas uma rega após o transplântio até a capacidade de saturação do substrato.

Avaliou-se a cada três dias a porcentagem de mudas sem sintomas visuais de deficiência hídrica, seguindo metodologia adaptada de Lopes et al. (2011). O experimento foi encerrado quando todas as mudas apresentaram sinais de déficit severo de estresse hídrico. Nesta fase, adotou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo fatorial (2 x 14) composto por duas intensidades de estímulos mecânicos e treze avaliações no tempo com quatro repetições de cinco mudas. Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio software estatístico SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007). Posteriormente, submetidos à análise de regressão linear a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

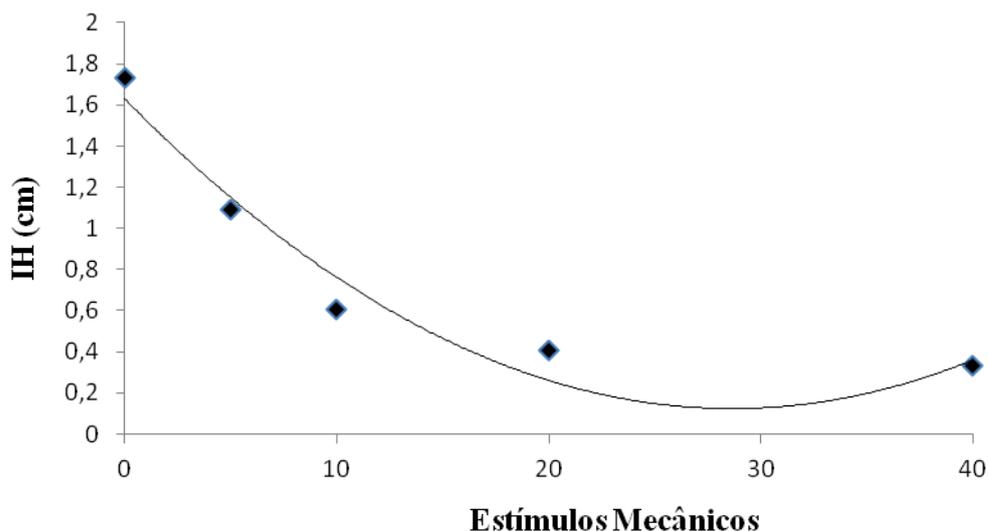
4.1 Fase do Estímulo Mecânico

Incremento no diâmetro do coleto

A variável incremento do coleto não apresentou resultado significativos ($p > 0,05$) em função dos estímulos mecânicos, (média = 0,3 mm). O aumento do diâmetro do coleto reportado por outros autores (TELEWSKI e PRUYN, 1998) com mudas de *Ulmus americanos* não foi notado nas mudas de tamboril-da-mata nas condições do presente ensaio.

Incremento na altura da parte aérea

Para a variável incremento em altura da parte aérea ocorreu à redução de 94,79% com até 29,25 estímulos mecânicos (Figura 2) em relação à testemunha de acordo com a interpretação da regressão computada. Essa redução do incremento em altura é uma das respostas que se espera com a realização dos estímulos mecânicos (TELEWSKI e PRUYN, 1998).



$$\hat{y}_{IH} = 0,0018x^2 - 0,1053x + 1,6312 \quad R^2 = 0,956^*$$

Figura 2: Incremento em altura (IH) da parte aérea em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. *Significativo a 5% de probabilidade.

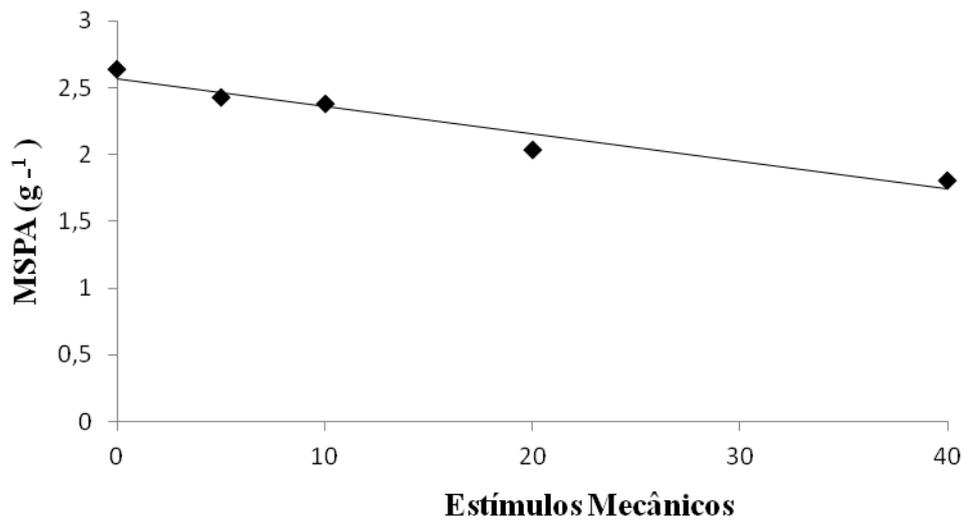
Existe uma correlação direta entre o vento e a relação altura da planta. Quando cultivada em áreas com ventos constantes os vegetais apresentam uma menor altura do que aquelas em área com ausência de ventos. A pequena altura é resultado da dessecação constante, que provoca células menores e uma planta mais compacta (GLIESSMAN, 2000).

A força do vento pode ser de grande impacto na produtividade e na sobrevivência de um povoamento florestal (GRACE, 1977). O vento pode afetar positiva ou negativamente o crescimento das plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO₂ e efeito mecânico sobre as folhas e ramos (BELTRÃO et al., 2008).

Telewski e Pruyne (1998) estudando os efeitos da tigmomorfogênese em mudas de *Ulmus americana* obtiveram diminuição do incremento em altura e aumento do diâmetro do coleto com o aumento do número de flexões caulinares a que as mudas foram submetidas.

Massa seca da parte aérea e da raiz

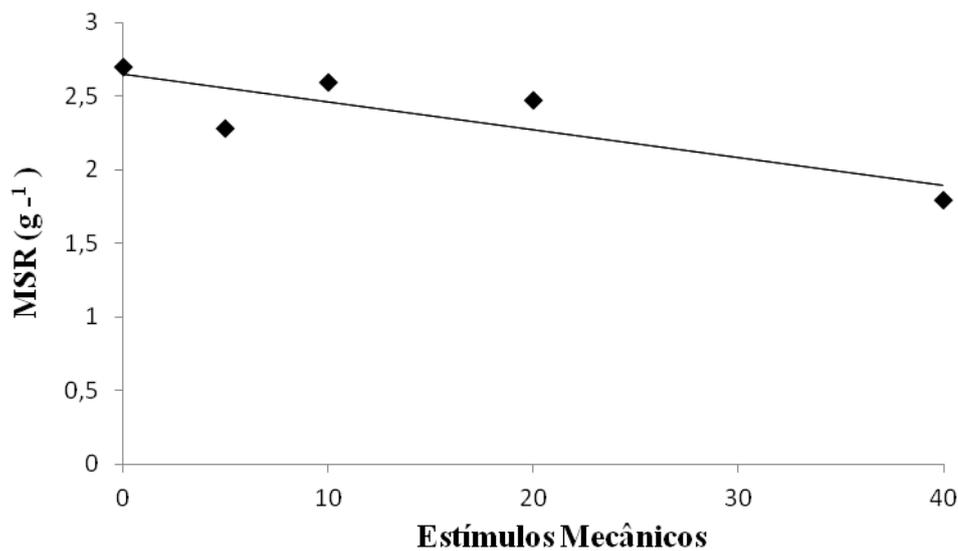
Para a variável massa seca da parte aérea (Figura 3) os resultados analisados indicaram uma redução linear da biomassa aérea com o aumento dos estímulos mecânicos. Com o emprego de 40 flexões diárias, a biomassa reduziu em 31,2% em comparação ao tratamento controle.



$$\hat{y}_{MSPA} = -0,020x + 2,563 \quad R^2 = 0,943^*$$

Figura 3: Massa seca da parte aérea (MSPA) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.

Os resultados da massa seca de raiz das mudas de tamboril-da-mata indicaram haver uma redução de 28,7% com a realização de até 40 estímulos mecânicos diários (Figura



4). $\hat{y}_{MSR} = -0,019x + 2,649 \quad R^2 = 0,709^*$

Figura 4: Massa seca da raiz (MSR) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.

Segundo Whitehead (1957) as plantas que toleram a ação do vento, apresentam uma marcada diminuição da produção de massa seca com o aumento da velocidade do vento.

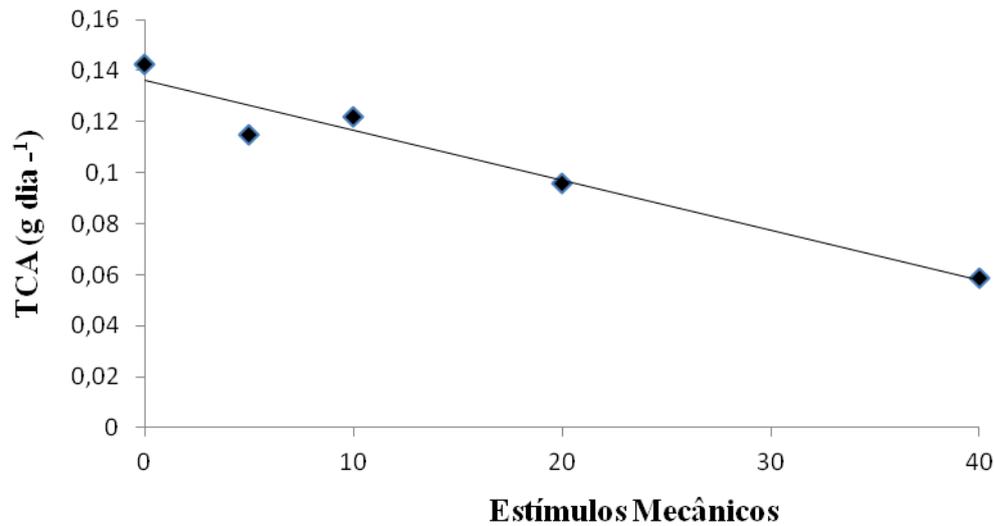
Plantas em condições de ventos fortes por um longo período, podem desenvolver certas características fisiológicas como maior proporção de raiz em comparação com a parte aérea, maior largura e espessura das folhas (BELTRÃO et al., 2008) que resultam em maior resistência a ação da movimentação atmosférica.

Alguns estudos quantificaram o efeito dos estímulos mecânicos sobre a alocação de biomassa da planta. Ápices de plântulas de tomate perturbadas mecanicamente durante um minuto por dia, durante seis semanas, apresentaram a igualdade entre as médias de plântulas não perturbadas, onde a maior parte da biomassa total estava concentrada nas raízes (GARTNER, 1994 apud COUTAND, 2010). Vibrações aplicadas em *Capsella bursa pastoris* durante 60 segundos uma vez por dia resultou em maior biomassa de raízes do que nas plantas controle (NIKLAS, 1998). Árvores jovens de *Prunus avium*, submetidas a um regime de curvatura de uma dobra a cada três horas, durante seis semanas não apresentaram alteração do biomassa total produzida durante o tratamento, mas, em vez disso, revelou uma modificação na alocação de biomassa entre parte aérea e os compartimentos de raiz. Árvores livres para balançar com o vento tiveram 60% de sua biomassa alocada nas raízes, enquanto que as árvores protegidas do vento tiveram 40% de sua biomassa nas raízes e árvores protegidas em casa-de-vegetação e submetidas à flexão tiveram 50% da sua biomassa nas raízes (COUTAND et al., 2008). Assim, o estímulo mecânico aparece como um regulador da distribuição de biomassa entre as diferentes partes da planta (COUTAND, 2010).

Alterações na morfogênese induzidas pelo toque, estão correlacionadas com o aumento e o fortalecimento do tecido perturbado, melhorando a resistência a danos mecânicos e a perturbação induzida (JAFFE et al, 1984; BIDDINGTON, 1986; TELEWSKI e JAFFE, 1986). Algumas espécies aumentam os tecidos rígidos enquanto outras tem maior flexibilidade em resposta à perturbação mecânica (BIDDINGTON, 1986).

Taxa de crescimento absoluto

A taxa de crescimento absoluto (Figura 5) reduziu linearmente em função do aumento dos estímulos mecânicos. Com o emprego de até 40 flexões foi possível reduzir a velocidade de crescimento em até 58,8% em comparação ao tratamento controle. Esta constatação sugere que tanto os tecidos aéreos como os radiculares externaram redução na velocidade de crescimento em resposta aos estímulos mecânicos.



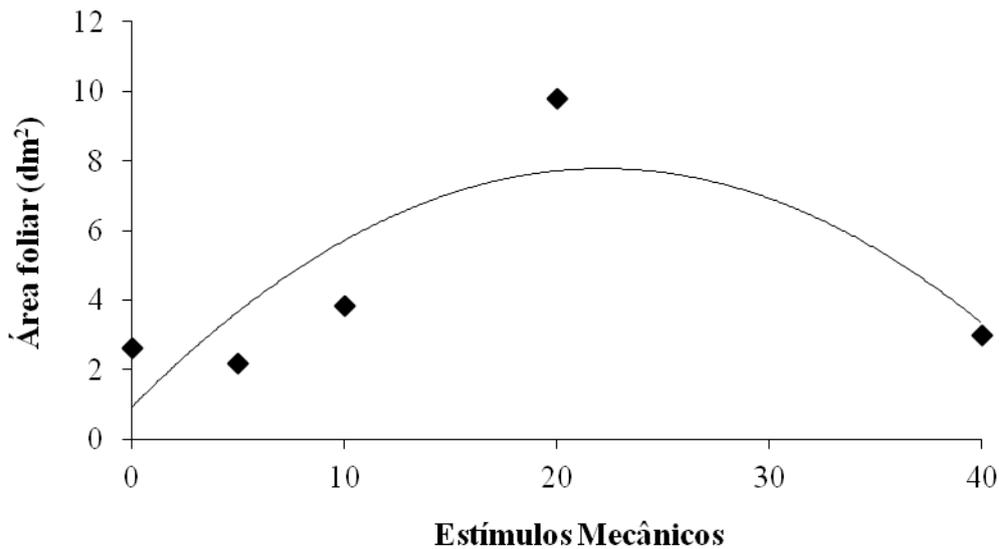
$$\hat{y}_{TCA} = -0,002x + 0,136 \quad R^2 = 0,951^*$$

Figura 5: Taxa de crescimento absoluto (TCA) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. Significativo a 5% de probabilidade.

O estímulo mecânico pode variar entre os indivíduos da mesma espécie e entre as espécies vegetais, tendo em vista que organismos adaptados à ambientes com movimentação atmosférica (vento) expressam resposta maior do que as não adaptadas (TELEWSKI e PRUYN, 1998). Plantas sem células sensoriais especializadas respondem também à perturbação mecânica. No entanto, aquelas reagem lentamente ao longo do tempo, alterando a morfologia bem como a taxa de crescimento (CHEHAB et al., 2009).

Área Foliar, área foliar específica e razão de área foliar

A área foliar (Figura 6) aumentou com até 22,23 estímulos mecânicos, externando um aumento de até 7,4 vezes o valor da área foliar das mudas do tratamento controle.



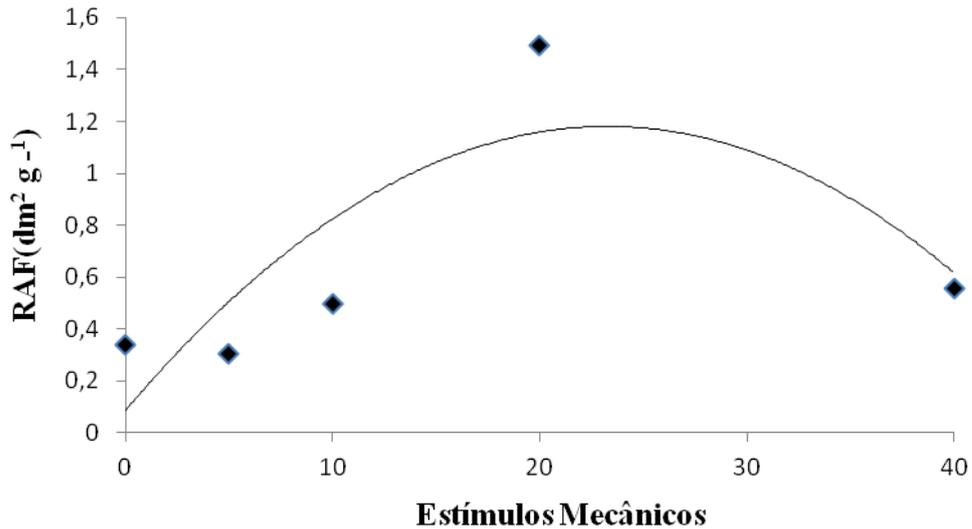
$$\hat{y}_{AF} = -0,0139x^2 + 0,6182x + 0,9253 \quad R^2 = 0,67^*$$

Figura 6: Área foliar em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.

A diminuição da área foliar em resposta ao aumento na frequência do estímulo mecânico pode resultar em uma diminuição na disposição de fotoassimilados resultando em uma árvore de menor estatura em relação às árvores expostas a menor quantidade de carga mecânica (TELEWISKI e PRUYN, 1998). Essa redução encontra paralelismo com as resposta de folhas de mudas de tomate que tiveram o alongamento do caule grandemente reduzido devido à agitação (usado um agitador de laboratório) no verão, em condições de luz reduzida (abaixo de 17% de luz plena), enquanto que a área foliar é afetada somente com alta luminosidade (44% de luz plena) conforme constataram Heuchert e Mitchel (1983) apud Bovi e Minami (1999). Esses mesmos autores concluíram em equivalentes tratamentos com agitação em tomateiro redução na área foliar de 34% durante o inverno em relação a 19% durante o verão, com o uso de cobertura no verão, de modo que a energia recebida fosse a mesma nas duas estações sugerindo uma indefinida interação com outras condições de crescimento. Geralmente com pouca intensidade de luz, a altura da planta é reduzida no verão, embora sob menor efeito no tamanho das folhas.

Para a variável razão de área foliar (Figura 7) observou-se um comportamento semelhante com o da variável área foliar um aumento de até 12,9 vezes o valor médio do

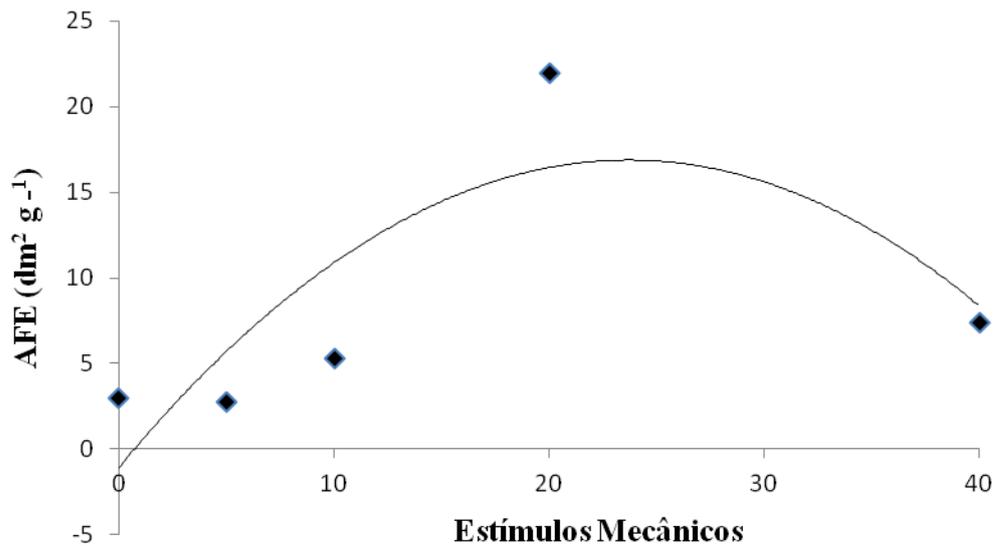
tratamento controle com a realização de 23,52 estímulos e sua posterior redução com a realização de até 40 estímulos mecânicos.



$$\hat{Y}_{RAF} = -0,002x^2 + 0,0941x + 0,0856 \quad R^2 = 0,658^*$$

Figura 7: Razão de área foliar (RAF) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. * Significativo a 5% de probabilidade.

A variável área foliar específica (Figura 8) teve um aumento de 16 vezes com a realização de 23,65 estímulos e sua posterior redução com a realização de até 40 estímulos mecânicos, em comparação com as plantas controle.



$$\hat{y}_{\text{AFE}} = -0,032x^2 + 1,5139x - 1,0569 \quad R^2 = 0,6552^*$$

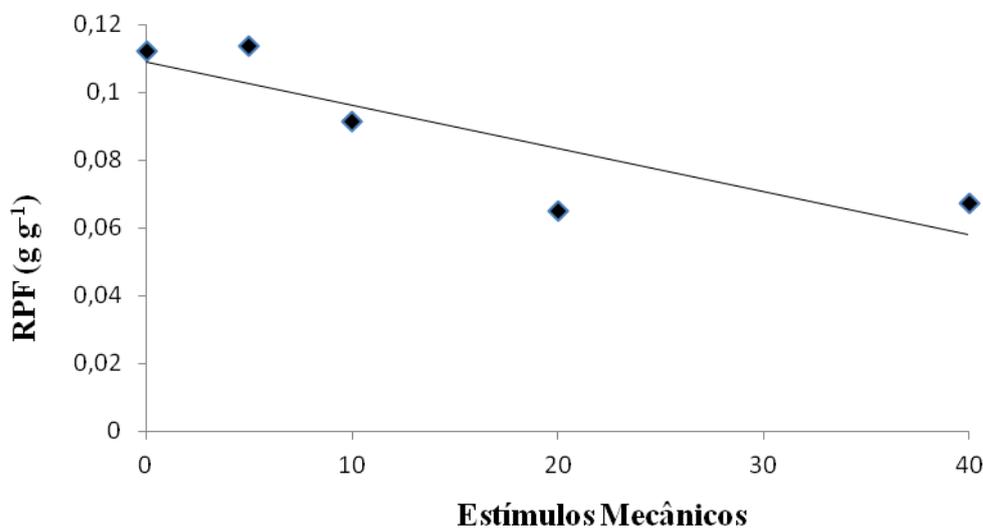
Figura 8: Área foliar específica (AFE) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. *Significativo a 5% de probabilidade.

Os resultados de área foliar, razão de área foliar e área foliar específica mostram aumento na produção de fotoassimilados com a aplicação de em média 20 estímulos mecânicos diários. Esse aumento não resultou em ganho de biomassa tanto aérea como radicular (Figura 3 e 4). Uma possível interpretação desses resultados é de que os estímulos provocaram suficiente estresse para o redirecionamento de fotossintetatos na manutenção e formação de área foliar (maior área foliar, porém com menor espessura similar ao estresse induzido por sombreamento) observado em estudos feitos por Henry e Thomas (2002) no qual a massa seca de folhas por unidade de área foliar (AFE) foi menor em plantas de sombra do que nas plantas não sombreadas. Esse resultado é consistente com a baixa espessura da folha, geralmente exibida por folhas de sombra e é pensado para minimizar o sombreamento interno dos cloroplastos (BOARDMAN, 1977 apud HENRY e THOMAS, 2002). Massa foliar seca total dividida pela área total da folha (RAF) também foi menor em plantas tratadas com vento do que em plantas não tratadas, indicando possíveis reduções tigmomorfogenéticas em expansão celular da folha.

Com o crescimento da planta aumenta a interferência das folhas superiores sobre as inferiores, diminuindo a área foliar útil. Os menores valores de RAF, portanto, indicam maior eficiência das folhas em produção de biomassa (DANTAS et al., 2009).

Razão peso de folha

Para variável razão peso de folha foi observada redução linear com a realização de até 40 estímulos mecânicos (Figura 9). Com o emprego de até 40 estímulos diários, a razão peso de folha reduziu em até 37,0% em comparação ao tratamento controle.



$$\hat{Y}_{RPF} = -0,001X + 0,108 \quad R^2 = 0,736^*$$

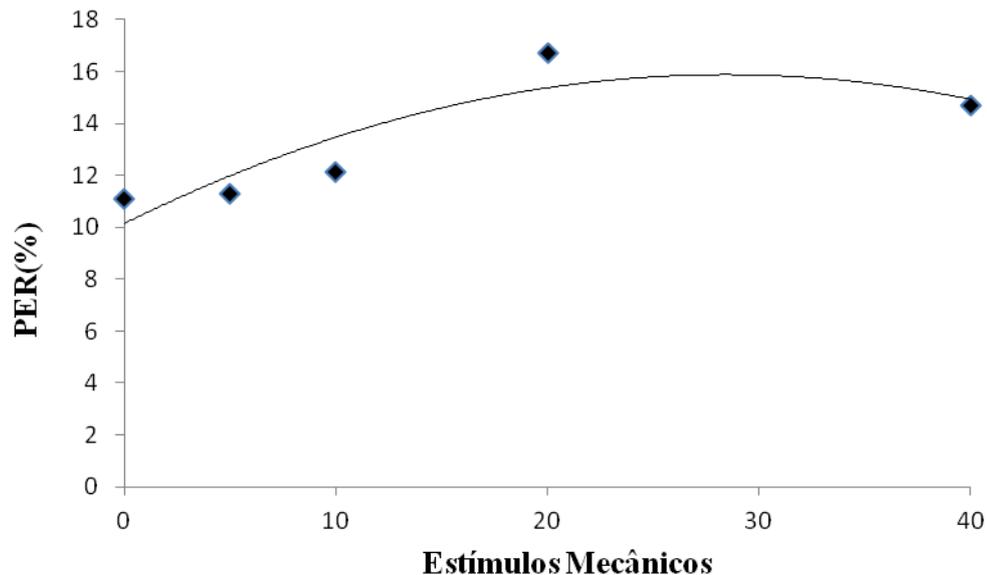
Figura 9: Razão peso de folhas (RPF) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. *Significativo a 5% de probabilidade.

Considerando que as folhas são a fonte (centro de produção de matéria seca) e que os drenos dependem da exportação dos açúcares produzidos nas folhas (BENINCASA, 2003), a razão peso de folha expressa assim à fração de matéria seca retida nas folhas e não exportada para os demais órgãos (DANTAS et al., 2009). Adicionalmente folhas danificadas pelo vento têm reduzido a sua capacidade de translocação e de fotossíntese (ASSIS, 2008).

Podendo-se inferir assim, que as mudas submetidas a 40 estímulos mecânicos diários exportaram menos foto-assimilados para os demais órgãos da planta o que justifica os valores inalterados das biomassas aérea e radicular quantificadas.

Perda de eletrólitos das raízes

Os valores obtidos com a perda de eletrólitos das raízes em mudas que receberam estímulos mecânicos indicou um aumento de 56,46% no extravasamento de eletrólitos em relação às mudas sem estímulo mecânico (Figura 10).



$$\hat{y}_{PER} = -0,0071x^2 + 0,4033x + 10,143 \quad R^2 = 0,787^{**}$$

Figura 10: Perda de eletrólitos das raízes (PER) em mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos. ** Significativo a 1% de probabilidade.

Esse aumento no extravasamento de eletrólitos leva a perda da capacidade da permeabilidade seletiva da membrana celular dos tecidos radiculares, e conseqüentemente a retenção de íons. Portanto, a quantificação dos íons que extravasam através das membranas celulares dos tecidos radiculares estima as condições da integridade celular dos mesmos (PALTA et al., 1977; FERNADES e SOUZA, 2006). O estímulo mecânico induz a uma deposição de substâncias osmoticamente ativas no sistema radicular como prolina e açúcares solúveis os quais conferem maior tolerância ao estresse por meio do ajustamento osmótico (GUO et al., 1999).

4.2 Fase de Restrição Hídrica

A variação de temperatura e umidade relativa do ar durante a permanência das mudas de tamboril-da-mata na casa de vegetação sob condições de restrição hídrica mostrou que os maiores valores de temperatura ocorreram das 12:00 as 18:00 horas onde a temperatura variou acima dos 30°C e a umidade relativa do ar esteve abaixo de 50% (Figura 11).

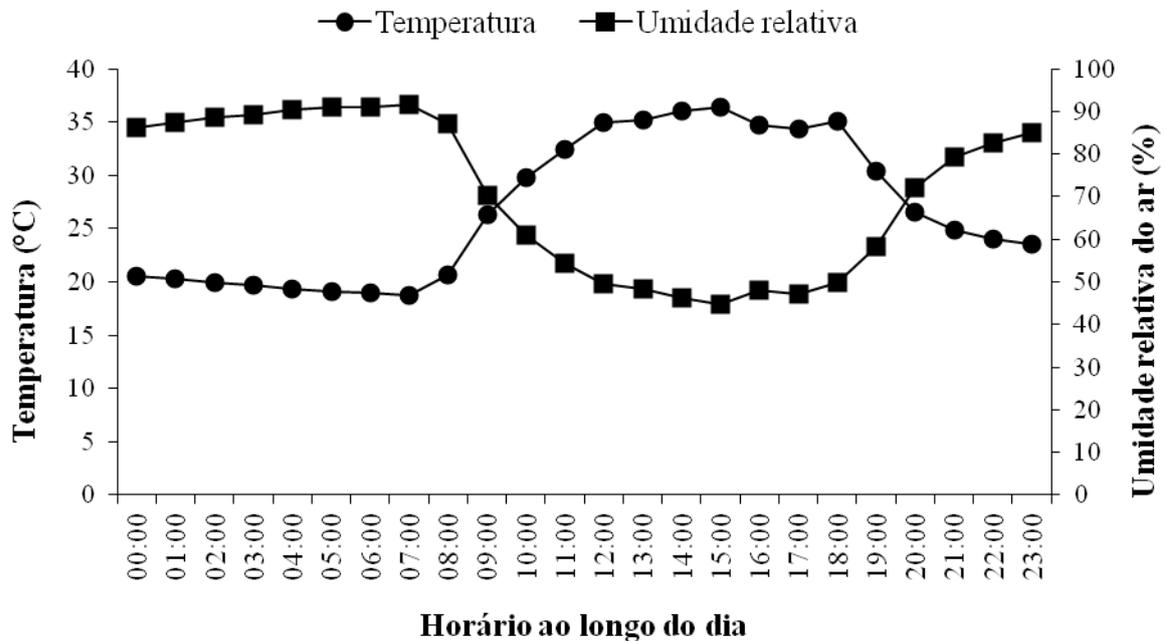


Figura 11: Temperatura e umidade relativa do ar média por horário ao longo do dia no ambiente propagativo de 20/01 a 25/02 de 2012.

O teor de água do substrato (Figura 12) avaliado pelo método gravimétrico (secagem em estufa) mostrou uma redução com o aumento do período de permanência das mudas de tamboril-da-mata sob restrição hídrica.

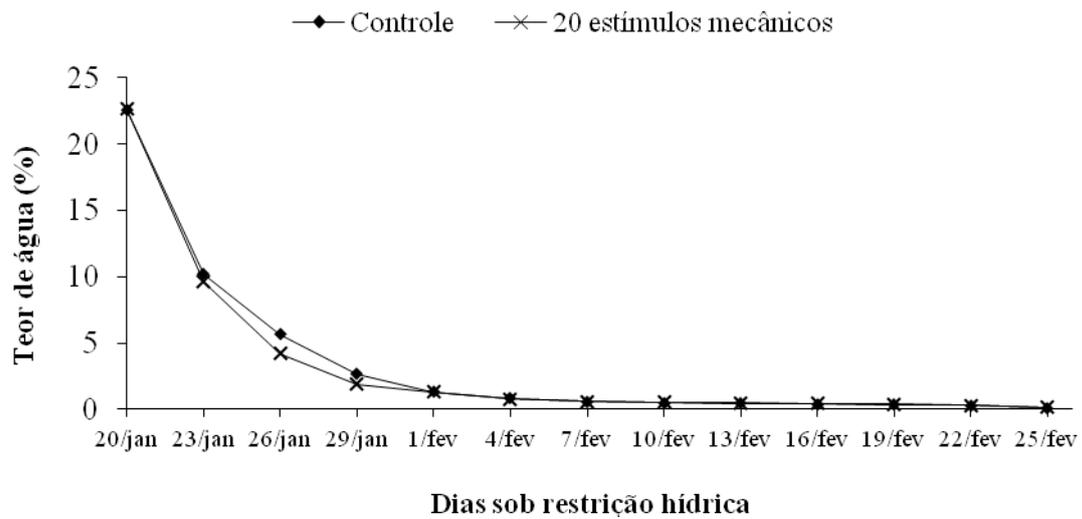


Figura 12: Teor de água do substrato durante a permanência das mudas de tamboril-da-mata sob restrição hídrica de 20/01 a 25/02 de 2012.

Mudas de tamboril-da-mata submetidas a 20 estímulos mecânicos diários por 30 dias e o tratamento controle não apresentaram diferenças (Anexo B) quando mantidas sob restrição hídrica (Figura 13) em casa de vegetação.

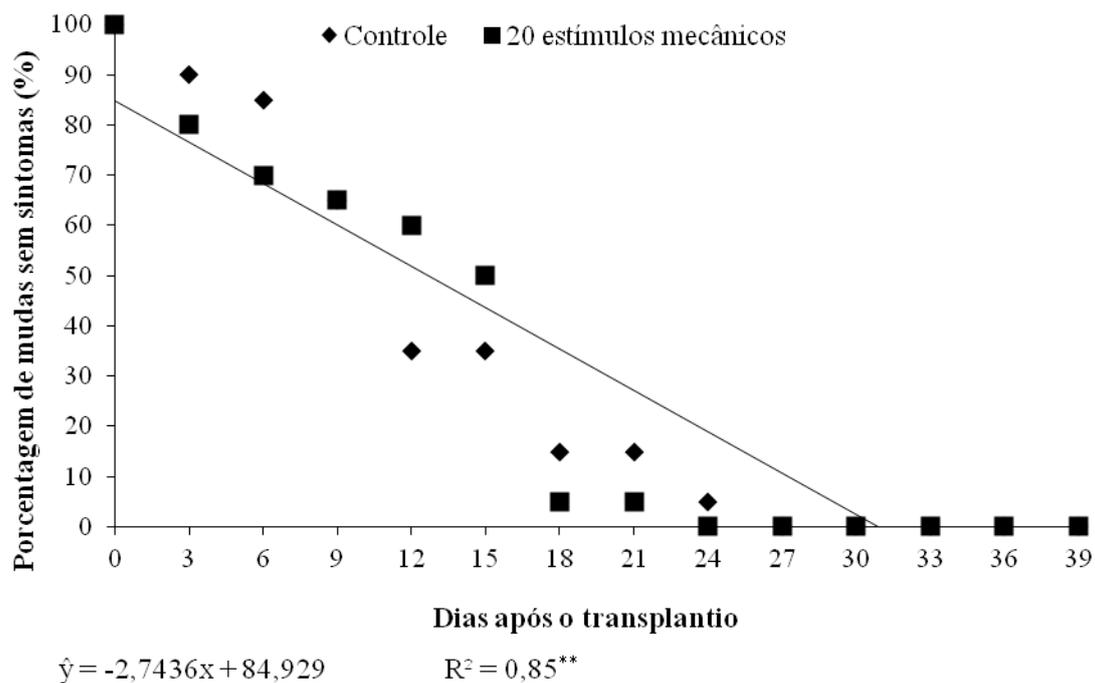


Figura 13: Porcentagem de mudas de timboril-da-mata sem sintomas de deficiência hídrica dias após o transplântio. ** Significativo a 1% de probabilidade.

Wang et al. (2009) estudando os efeitos da perturbação mecânica em *Corispermum mongolicum* de acordo com a disponibilidade de água relataram que a disponibilidade de água também pode afetar algumas características envolvidas na tigmomorfogênese. Geralmente, os resultados de alta disponibilidade de água aumentam a alocação de água na parte aérea em detrimento das raízes, e plantas também apresentaram altura maior. Evidentemente estas respostas são no sentido oposto ao da tigmomorfogênese (GRACE et al., 1982; LATIMER, 1990; ENNOS, 1997; ANTEN et al., 2005 apud WANG et al., 2009).

Em um estudo recente, Wang et al. (2008) concluíram que a perturbação mecânica diminuiu a produção de biomassa em *Hedysarum laeve*, uma espécie comum em áreas áridas do norte da China e da Mongólia, mas que os efeitos da perturbação mecânica em relação ao seu crescimento e propriedades mecânicas foram independentes do regime de água do solo.

Em muitos ecossistemas áridos, as plantas tendem a ser expostas a níveis elevados de perturbação mecânica porque a velocidade do vento tende a ser alta e a vegetação é dispersa, e assim as plantas não protegem umas as outras em relação ao vento (WANG et al., 2008). Naquelas condições, a pouca chuva que cai tende a concentrar-se no verão, enquanto pico de velocidade de ventos anuais tendem a ocorrer na primavera (ZHANG, 1994

apud WANG et al., 2009). Assim, a tensão maior à seca tende a estar associada com níveis mais elevados de perturbação mecânica.

5 CONCLUSÃO

Mudas de tamboril-da-mata submetidas a 20 estímulos mecânicos durante 30 dias de rustificação externaram as seguintes alterações morfométricas:

- Incremento no diâmetro do coleto não significativo ($p>0,05$).
- Incremento na altura da parte aérea com redução de 94,79%.
- Massa seca da parte aérea com redução de 31,2% e massa seca da raiz com redução de 28,7%.
- Taxa de crescimento absoluto com redução de 58,8%.
- Área foliar com aumento de 7,4 vezes, razão de área foliar com aumento de 12,9 vezes e a área foliar específica com aumento de 16 vezes em relação as mudas controle.
- Razão peso de folha com redução de 37%.

O teste da perda de eletrólitos indicou um aumento de 56,46% do extravasamento de eletrólitos em relação as mudas controle.

Mudas que receberam 20 estímulos mecânicos diários e as mudas controle não externaram diferenças quando submetidas a deficiência hídrica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTEN, N.P.R., CASADO-GARCIA, R., NAGASHIMA, H. **Effects of mechanical stress and plant density on mechanical characteristics, growth, and lifetime reproduction of tobacco plants.** *American Naturalist*, 166, 650–660, 2005.
- BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; FILHO, J. F.; BRITO, G. G. **Enfoque Agrometeorológico para Cultura da Mamoeira.** Circular Técnica, EMBRAPA, Campina Grande, PB, p. 13, 2008.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** Jaboticabal: FUNEP, 2003, 41p.
- BIDDINGTON, N. L. **The effects of mechanically-induced stress in plants: a review.** *Plant Growth Regulation*, v. 4, p.103–123, 1986.
- BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliotti* var. *elliotti*-Engelm.** 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- BOARDMAN, N. K. **Comparative photosynthesis of sun and shade plants.** *Annual Review of Plant Physiology* 28: 355–377, 1977.
- BOVI, J. E.; MINAMI, K. **Condicionamento mecânico de mudas de tomateiro (*Lycopersion esculentum* Mill.).** *Scientia Agrária*, v.56, 1999.
- BRAAM, J. **In touch: plant responses to mechanical Stimuli.** *New Phytologist*, v. 165, p. 373 – 389, 2004.
- CARNEIRO, J.G de A. **Variações na metodologia de produção de mudas florestais afetam os parâmetros morfofisiológicos que indicam sua qualidade.** Série Técnica. FUPEF., Curitiba, n.12, p. 1-40,1983.
- CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais.** Curitiba: UFPR/FUPEF/UENF, p. 451, 1995.
- COUTAND, C.; DUPRAZ, C.; JAOUEN, G.;PLOQUIN, S.; ADAM, B. **Mechanical stimuli regulate the allocation of biomass in trees: demonstration with young *Prunus avium* trees.** *Annals of Botany*, v.101, p.1421–1432, 2008.
- COUTAND, C. **Mechanosensing and thigmomorphogenesis, a physiological and biomechanical point of view.** *Plant Science* 179, 168–182, 2010.
- CLOSE, D.C.; BEDLE, C.L.; BROWN, P.H.; **The physiological basis of containerised tree seedling ‘transplant shock’: a review .** *Australian Forestry* v. 68 n. 2 p. 112–120, 2005.
- CHEHAB, E. W.; EICH, E.; BRAAM, J. **Thigmomorphogenesis: a complex plant response to mechano-stimulation.** *Journal of Experimental Botany*, v.. 60, No. 1, p. 43–56, 2009.

DANTAS, B. F.; LOPES, A. P.; SILVA, F. F. S.; LÚCIO, A. A.; BATISTA, P. F.; PIRES, M. M. M. da L.; ARAGÃO, C. A. **Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamento.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.413-423, 2009.

EIRA, M. T. S.; FREITAS, R. W. A.; MELLO, C. M. C. **Superação da dormência de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong – Leguminosae.** Revista Brasileira de Sementes, v.15, n.2, p.177-181, 1993.

ENNOS, A.R. **Wind as an ecological factor.** Trends in Ecology & Evolution, 12, 108–111, 1997.

ESSEN, P. A. **Tree mortality patterns after experimental fragmentation of an old-growth conifer forest.** Biological Conservation, v. 68, p. 19-28, 1994.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. **Absorção de nutrientes.** In: Fernandes, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2006. p.116-152.

FERREIRA, D.F. **Sisvar: sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.1. Software estatístico,** Lavras: DEX/ UFLA, 2007.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. E *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2000. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, 2000.

FONSECA, E. de P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, A. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** Revista. *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.4, p.515-523, 2002.

GARTNER, B.L. **Root biomechanics and whole-plant allocation patterns – responses of tomato plants to stem flexure.** Journal of Experimental Botany, 45, 1647–1654, 1994.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; BORGES, R. C. G.; FONSECA, E. P. **Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, em Win-Strip.** Revista *Árvore*, v.15, n.1, p. 35-41, 1991.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Universidade/UFRG, p. 653, 2000.

GRACE, J. **Plant responses to wind.** Academic Press, New York, p.204, 1977.

- GRACE, J.; PITCAIRN, C.E.R., RUSSELL, G.; DIXON, M. **The effects of shaking on the growth and water relations of *Festuca arundinacea* Schreb.** *Annals of Botany*, 49, 207–215, 1982.
- GUO, Y.F. **Ice storm damage to a sweetgum plantation fertilized with nitrogen and phosphorus.** *Southern Journal of Applied Forestry*, v. 23, p. 224–229, 1999.
- GUERRA, M. P.; NODARI, R. O.; REIS, A.; GRANDO, J. L. **Comportamento da Canafistula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) em Viveiro, Submetida a Diferentes Métodos de Quebra de Dormência e Semeadura.** *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.5, p.1-18, 1982.
- HEUCHERT, J. C.; MITCHELL, C. A. **Inhibition of shoot growth in greenhouse-grown tomato by periodic gyrotory shanking.** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.108, n. 5, p. 795-800, 1983.
- HENRY, H. A. L.; THOMAS, C. S. **Interactive Effects of Lateral Shade and Wind on Stem Allometry, Biomass Allocation, and Mechanical Stabability in *Abutilon Theophrasti* (Malvaceae).** *American Journal of Botany* 89(10): 1609–1615. 2002.
- 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. United States Department of Agriculture, Forest Service, 2009.
- JAFFE, M.J. **Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation.** *Planta* 114, 143–157, 1973.
- JAFFE, M. J. **Morphogenetic Responses of Plants to Mechanical Stimuli or Stress.** *BioScience*, v. 30, nº. 4, p. 239-243, 1980.
- JAFFE, M. J.; TELEWSKI F. W.; COOKE P. W. **Thigmomorphogenesis: on the mechanical properties of mechanically perturbed bean plants.** *Physiologia Plantarum*, v. 62, p.73–78, 1984.
- LATIMER, J. **Drought or mechanical stress affects broccoli transplant growth and establishment but not yield.** *Hortscience*, 25, 1233–1235, 1990.
- LIMA, R.; OLIVEIRA, P. L.; RODRIGUES, L. R. **Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae-Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes.** *Revista Brasileira Botânica*. vol.32 no.2 São Paulo, 2009.
- LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** Dissertação (Mestrado em Agronomia-Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p. 100, 2004.
- LOPES, E. D. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* produzidas em blocos prensados e em dois modelos de tubetes e seu desempenho no campo.** 2005. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista - BA.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SILVA, M. R.; SAAD, J. C. C.; LOPES, C. F. **Estresse Hídrico em Plantio de *Eucalyptus grandis* VS. *Eucalyptus urophylla*, em Função do Solo, Substrato e Manejo Hídrico de Viveiro.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.31-39, 2011.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Vol.1, 5 Ed, Nova Odessa: Editora Plantarum, p.352, 2008.

MORGADO, I. F et al., **Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden utilizando resíduos prensados como substrato.** Revista *Árvore*, v.24, n.1, p.27-35, 2000.

MUNISHI, P.K.T; CHAMSHAMA, S.A.O. **A study of wind damage on *Pinus patula* stands in southern Tanzania.** Forest Ecology and Management, v. 63, p. 13–21, 1994.

NIKLAS, K. J. **Effects of vibration on mechanical properties and biomass allocation pattern of *Capsella bursa-pastoris* (Cruciferae).** Annals of Botany, 82, 147–156, 1998.

PALTA, J. P.; LEVITT, J.; STADELMANN, E. J. **Freezing injury in onion bulb cells. Evaluation of the conductivity method and analysis of ion and sugar efflux from injured cells.** Plant Physiology, v.60, p.393-397, 1977.

PELTOLA, H.; KELLOMASK, S.; HAISSINEN, A; GRANANDER, M. **Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: analysis of tree-pulling experiments in Finland.** Forest Ecology and Management, v. 135, p. 143–153, 2000.

SILVA, R.F.; ANTONIOLLI, Z.I.; ANDREAZZA, R. **Efeito da inoculação com fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em solo arenoso.** Ciência Florestal, v. 13, n. 1, p. 33-42, 2002.

SAIDELLES, F. L. F; CALDEIRA, M. V.W; SCHIRMER, W.N; SPERANDIO, H. V. **Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, PR, v. 30, n.1, p. 1173-1186, 2009.

SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus sp.* W. (Hill ex. Maiden).** Botucatu, p. 100, 2003. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TELEWSKI, F. W.; JAFFE, M. J. **Thigmomorphogenesis: anatomical, Morphological and mechanical analysis of genetically different sibs of *Pinus taeda* in response to mechanical perturbation.** Physiologia Plantarum, v. 66, p. 219–226, 1986 *a*.

TELEWSKI, F. W.; JAFFE, M. J. **Thigmomorphogenesis: field and laboratory studies of *Abies fraseri* in response to wind and mechanical perturbation.** Physiologia Plantarum, v. 66, p. 211–218, 1986 *b*.

TELEWSKI, F.W.; PRUYN, M.L. **Thigmomorphogenesis: a dose response to flexing in *Ulmus americana* seedlings.** *Tree Physiology*, v. 18, p. 65 - 68, 1998.

WANG, Y.-H.; HE W.-M.; DONG, M.; YU F.-H.; ZHANG, L.-L.; CUI, Q.-G.; CHU, Y. **Effects of shaking on the growth and mechanical properties of *Hedysarum laeve* may be independent of water regime.** *International Journal of Plant Sciences*, 169, 503–508, 2008.

WANG, Y.-H.; HE W.-M.; DONG, M.; YU F.-H.; ZHANG, L.-L.; CUI, Q.-G.; CHU, Y. **Brushing effects on the growth and mechanical properties of *Corispermum mongolicum* vary with water regime.** *Plant Biology* 11, 694–700, 2009.

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

WHITEHEAD, F. H. **Wind as a factor in plant growth.** In: HUDSON, J. P. *Control of The Plant Environment*. London: Butterworths, p.345, 1957.

WILNER, J. **Relative and absolute electrolyte conductance testes for frost hardiness of apple varieties.** *Canadian Journal Plant Science*, v.40, p. 630-637, 1960.

ZHANG, X.S. **Principles and optimal models for development of Maowusu sand grassland.** *Acta Phytoecologica Sinica*, 18, 1–16, 1994.

ANEXOS

ANEXO A: resumo da análise de variância das mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos na fase de rustificação.

	F_{calc} para as variáveis									
	IC	IH	PER	MSPA	MSR	TCA	AF	RAF	AFE	RPF
Trat.	1,30 ^{ns}	28,23*	4,00*	28,73*	12,1**	395,78*	5,97*	7,93*	14,87*	11,478**
(L)	---	72,46*	8,32*	108,47*	34,5*	1505,9*	1,19 ^{ns}	3,82 ^{ns}	8,94 ^{ns}	33,98*
(Q)	---	35,48*	4,29 ^{ns}	4,77*	3,88 ^{ns}	1,796 ^{ns}	14,85*	17,05*	30,05*	7,73*
Média	0,33	0,83	13,1	2,25	2,36	0,106	4,27	0,638	8,06	0,089
C.V. (%)	21,1	26,2	15,9	5,52	8,65	2,98	60,08	54,41	51,28	15,4

**,*^{ns} Significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo teste F. Regressão Linear (L), Regressão Quadrática (Q).

ANEXO B: resumo da análise de variância das mudas de tamboril-da-mata submetidas a estímulos mecânicos na fase de rustificação e posteriormente mantidas sob restrição hídrica.

F.V.	G.L.	QM	F_{calc}
Bloco	3	600,00	2,25 ^{ns}
Flexão (F)	1	14,29	0,05 ^{ns}
Tempo (T)	13	11013,19	41,30**
F x T	13	214,29	0,80 ^{ns}
Erro	81	266,67	
C.V. (%)	51,9		
Média	31,4		

**,*^{ns} Significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo teste F.

ANEXO C: produção das mudas de tamboril-da-mata.



ANEXO D: separação das mudas de tamboril-da-mata nos tratamentos (0, 5, 10, 20 e 40 estímulos mecânicos) na fase de rustificação.

