

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Polímeros Hidrorretentores na Produção e no Plantio
de Mudanças de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)
Morong e *Paubrasilia echinata* Lam**

Caroline de Melo Almeida

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**POLÍMEROS HIDRORRETENTORES NA PRODUÇÃO E NO PLANTIO
DE MUDAS DE *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Paubrasilia
echinata* Lam**

CAROLINE DE MELO ALMEIDA

Sob a Orientação do Professor
Jose Carlos Arthur Junior

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais,
Área de Concentração em
Silvicultura

Seropédica, RJ
Maio de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447p Almeida, Caroline de Melo, 1992-
Polímeros Hidrorretentores na Produção e no Plantio
de mudas de Enterolobium contortisiliquum (Vell.)
Morong e Paubrasilia echinata Lam / Caroline de Melo
Almeida. - Seropédica, 2021.
47 f.: il.

Orientador: José Carlos Arthur Junior.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2021.

1. recurso hídrico. 2. hidrogel. 3. irrigação. I.
Arthur Junior, José Carlos, 1980-, orient. II
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA



DECLARATÓRIA Nº 4 / 2021 - DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)

Nº do Protocolo: 23083.080002/2021-30

Seropédica-RJ, 05 de novembro de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS
CAROLINE DE MELO ALMEIDA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/05/2021

José Carlos Arthur Junior. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. Sc. UFRRJ

Magali Ribeiro da Silva. Dra. Sc. UNESP

(Assinado digitalmente em 05/11/2021 11:41)
DANIEL FONSECA DE CARVALHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)
Matrícula: 1224578

(Assinado digitalmente em 05/11/2021 09:51)
JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)
Matrícula: 2270076

(Assinado digitalmente em 05/11/2021 16:36)
MAGALI RIBEIRO DA SILVA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 103.927.998-80

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **4**, ano: **2021**,
tipo: **DECLARATÓRIA**, data de emissão: **05/11/2021** e o código de verificação: **e27177f971**

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação não é fruto de um trabalho solo, mas de um conjunto de pessoas que atuaram junto a mim para que conseguíssemos realizá-la, e a elas devo meu agradecimento.

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, professor Jose Carlos Arthur Junior, pelos ensinamentos não somente no âmbito profissional, mas também de valores de vida. Por toda paciência e compreensão, meu muito obrigada.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas (GPASSA), em especial aos professores Daniel Fonseca de Carvalho e Marinaldo Ferreira Pinto, e seus orientados Mateus Marques Bueno, Wendell Luccas Sousa e Eleandro Silva da Cruz, que não mediram esforços para me auxiliar desde o planejamento do estudo. Sem vocês esta pesquisa ficaria inviável. Muito obrigada!

À professora Claudia Moster e técnica de laboratório Carolina Gomes, do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, pelo apoio prestado para realização das análises laboratoriais dos polímeros.

Aos funcionários do Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão”, que estiveram junto a mim no dia a dia, auxiliando no que fosse preciso, dando conselhos e torcendo pelo sucesso da pesquisa.

Aos amigos que se propuseram a me ajudar durante toda pesquisa, faça chuva ou sol, feriados, fins de semana e até mesmo no carnaval. Não vou citar nomes para não ser injusta com ninguém, mas vocês sabem o tamanho da minha gratidão por todas as colaborações em vários momentos da pesquisa. Muito obrigada!!

Estendo meus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento da bolsa de estudos, que possibilitou minha estada durante a pós graduação, bem como compra de insumos para a realização da pesquisa.

Por fim, à Deus e a minha família, por me ampararem em todos os momentos, apoiarem e acreditarem em mim, desde sempre. Se hoje sou o que sou, é por vocês e para vocês, muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) – Programa ARC 2019 – Auxílio ao Pesquisador Recém-contratado. Nº Processo E-26/010.002600/2019.



FINANCIADO COM RECURSOS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

RESUMO

ALMEIDA, Caroline de Melo. **Polímeros hidrorretentores na produção e no plantio de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Paubrasilia echinata* Lam.** 46p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A agricultura é a atividade que mais demanda água doce do planeta, muito em função do seu uso ineficiente durante o processo de irrigação, gerando grandes desperdícios. Nos viveiros florestais, a irrigação é realizada de forma empírica, acarretando desperdícios significativos. Os polímeros hidrorretentores tem potencial para reduzir a quantidade de água utilizada na irrigação, mas há carência de estudos na produção de espécies florestais, além da variação de características dos produtos comerciais disponíveis. O estudo teve como objetivo avaliar a utilização de polímeros hidrorretentores na produção e no plantio de mudas das espécies florestais *Enterolobium contortisiliquum* e *Paubrasilia echinata*, analisando-se características morfológicas e de sobrevivência. Avaliou-se também a absorção de água de três polímeros hidrorretentores: Hydroplan[®], Forth[®] e UPDT[®], bem como o efeito da condutividade elétrica da água com sais de cloreto de potássio e de cloreto de cálcio na sua absorção, e a influência dos polímeros nas propriedades físicas do substrato. Adotando delineamento inteiramente casualizado, foram conduzidos 2 experimentos independentes visando à produção das mudas, utilizando 3 doses do polímero hidrorretentor Hydroplan[®] (2,0; 4,0 e 6,0 g L⁻¹) adicionadas ao substrato comercial MecPlant[®], mais o tratamento sem a presença do polímero, em tubetes de 280 cm³. Para quantificar o volume de água aplicado, utilizou-se sistema semiautomatizado de irrigação de baixo custo por gotejamento. As mudas foram plantadas em vaso, simulando condições de campo. Foi utilizado um esquema fatorial 4x4, sendo o fator 1 as mudas produzidas nos tratamentos anteriores e o 2 a aplicação de polímeros no plantio (0; 1,5; 3,0 e 6,0 g cova⁻¹) em delineamento inteiramente casualizado. Os polímeros Hydroplan[®] e Forth[®] tiveram maior capacidade de absorção de água entre 349 e 374 g de água por g de produto, do que o polímero à base vegetal (78 g). Observou-se redução significativa da absorção de água em função do aumento da condutividade elétrica da água. Mesmo numa condutividade menor, de 1,0 dS m⁻¹, a redução foi de aproximadamente 50% da capacidade de absorção de água, sendo o cloreto de cálcio mais prejudicial do que o cloreto de potássio. Não ocorreu mudanças nas propriedades físicas do substrato com adição do polímero hidrorretentor. Considerando as variáveis morfológicas, de forma geral, as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* tiveram crescimento e qualidade semelhantes entre os tratamentos. Para as mudas de *Paubrasilia echinata* observou-se efeito negativo para algumas variáveis com doses maiores de polímero, porém sem diferença para qualidade. Em função da capacidade de absorção e de liberação gradual de água do polímero hidrorretentor, a redução foi de 51,6% e 42,9% do consumo de água para as espécies *Enterolobium contortisiliquum* e *Paubrasilia echinata*, respectivamente, no tratamento de 6,0 g L⁻¹ comparado ao tratamento sem adição do polímero. Houve aumento da sobrevivência das mudas produzidas com doses crescentes de polímero hidrorretentor em vaso, mesmo em menores doses, em média de 59 contra 41 dias.

Palavras-chave: recurso hídrico, hidrogel, irrigação.

ABSTRACT

ALMEIDA, Caroline de Melo. **Hydroretent polymers in the production and planting of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong and *Paubrasilia echinata* Lam.** 46p. Dissertation (Master in Environmental and Forest Sciences). Forest Institute, Department of Forestry, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Agriculture is the activity that most demands fresh water from the planet, largely due to its inefficient use during the irrigation process, generating great waste. In forest nurseries, irrigation is performed in an empirical way, causing significant waste. Hydroretentive polymers have the potential to reduce the amount of water used in irrigation, but there is a lack of studies in the production of forest species, besides the variation in characteristics of the commercial products available. The study aimed to evaluate the use of water-retaining polymers in the production and planting of seedlings of *Enterolobium contortisiliquum* and *Paubrasilia echinata*, analyzing morphological characteristics and survival. The water uptake of three water-retaining polymers: Hydroplan[®], Forth[®] and UPDT[®] was also evaluated, as well as the effect of the electrical conductivity of water with potassium chloride and calcium chloride salts on their uptake, and the influence of polymers on the physical properties of the substrate. Adopting an entirely randomized design, three independent experiments were conducted aiming at seedling production, using three doses of the hydroretentative polymer Hydroplan[®] (2,0; 4,0 and 6,0 g L⁻¹) added to the commercial substrate MecPlant[®], plus a treatment without the presence of the polymer, in 280 cm³ tubes. To quantify the volume of water applied, a low cost semi-automated drip irrigation system was used. The seedlings were planted in pots, simulating field conditions. A 4x4 factorial scheme was used, with factor 1 being the seedlings produced in the previous treatments and factor 2 the application of polymers at planting (0; 1,5; 3,0 and 6,0 g planting hole⁻¹) in an entirely randomized design. The polymers Hydroplan[®] and Forth[®] had a higher water absorption capacity between 349 and 374 g of water per g of product, than the plant-based polymer (78 g). A significant reduction in water absorption was observed as a function of increasing electrical conductivity of the water. Even at a lower conductivity, 1,0 dS m⁻¹, the reduction was approximately 50% of the water uptake capacity, calcium chloride being more harmful than potassium chloride. No changes occurred in the physical properties of the substrate with the addition of the hydroretentive polymer. Considering the morphological variables, in general, *Enterolobium contortisiliquum* seedlings had similar growth and quality among treatments. For *Paubrasilia echinata* seedlings, a negative effect was observed for some variables with higher polymer doses, but with no difference in quality. Due to the absorption capacity and gradual release of water from the hydroretentive polymer, the reduction was 51,6% and 42,9% of water consumption for the species *Enterolobium contortisiliquum* and *Paubrasilia echinata*, respectively, in the treatment of 6,0 g L⁻¹ compared to the treatment without addition of the polymer. There was increased survival of seedlings produced with increasing doses of hydroretentive polymer in pots, even at lower doses, on average 59 versus 41 days.

Keywords: water resources, hydrogels, irrigation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES.....	2
3. OBJETIVOS.....	2
3.1. Objetivo geral.....	2
3.2. Objetivos específicos	2
4. REVISÃO DE LITERATURA	3
4.1. Manejo hídrico	3
4.2. Polímero Hidrorretentor.....	4
4.3. Uso de espécies nativas no reflorestamento/restauração	5
4.3.1. <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	6
4.3.2. <i>Paubrasilia echinata</i> Lam.....	7
5. MATERIAL E MÉTODOS	7
5.1. Determinação da curva de absorção de água dos polímeros hidrorretentores	8
5.2. Absorção de água dos polímeros hidrorretentores em soluções salinas com condutividades elétricas crescentes.....	9
5.3. Análise dos substratos.....	9
5.4. Crescimento das mudas sob diferentes doses de polímeros incorporadas no substrato	10
5.5. Avaliação do desempenho das mudas em viveiro	14
5.6. Necessidade hídrica de espécies florestais.....	15
5.7. Sobrevivência das mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> em vasos.....	16
5.8. Análise estatística.....	19
6. RESULTADOS	19
6.1. Curva de absorção hídrica em função do tempo em água deionizada	19
6.2. Capacidade de absorção em diferentes concentrações de sais.....	21
6.3. Atributos físicos do substrato.....	22
6.4. Crescimento das mudas.....	23
6.5. Necessidade hídrica de espécies florestais.....	27
6.6. Avaliação das mudas de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> em simulação de campo.....	29
7. CONCLUSÃO	31
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância da água para manutenção da vida no planeta. Mas nos últimos anos houve aumento da crise hídrica global, seja pela baixa disponibilidade, distribuição ou qualidade da mesma. A distribuição ineficiente e desuniforme, o mau gerenciamento e os problemas ambientais são agravados pela atividade humana. Adicionalmente, outro fator agravante se deve às alterações climáticas que afetam diretamente o ciclo hidrológico, e, conseqüentemente, a qualidade e a quantidade de água no globo. O crescimento populacional, elevando o consumo de água para uso doméstico e para a produção de bens e de alimentos, somado à redução das reservas de água potável se apresenta como tema de grandes preocupações globais por especialistas.

Entre os maiores consumidores de água está a agricultura, que por meio da irrigação, é grande responsável pelo uso e contaminação dos recursos hídricos. No Brasil, a irrigação corresponde a 66,1% da água consumida (ANA, 2019), sendo que muito se perde durante o transporte nas tubulações, pela evaporação e pelo manejo inadequado. Além disso, o uso excessivo causa prejuízo à qualidade da água dos recursos hídricos por meio de alterações no solo nos teores de nutrientes, pH, componentes orgânicos persistentes e agrotóxicos.

Na silvicultura a situação não é diferente, pois a quantidade de água destinada à produção e plantio de mudas é significativa. O método de irrigação mais utilizado para produção de mudas de espécies florestais em viveiros é o de aspersão, o qual ao simular a precipitação pode levar ao desperdício de água, e prejudicar o desenvolvimento da muda. Arelado a isso, os recipientes mais utilizados, tubetes e sacos plásticos, são de baixos volumes, o que promove o aumento na frequência de irrigações. Conseqüentemente, além de aumentar o volume aplicado e o desperdício de água também eleva a lixiviação dos nutrientes, acarretando redução no seu aproveitamento pelas mudas e aumento do risco da eutrofização dos recursos hídricos. Nos plantios de espécies florestais, o fornecimento de água por meio da irrigação é fator primordial para aumento da sobrevivência das mudas, principalmente quanto não ocorrem nos meses de maior precipitação. Dependendo da época de plantio é necessário mais de uma irrigação, o que aumenta o consumo de água e encarece a produção florestal.

Diante disso, essa contextualização é fundamental estudar alternativas para aumentar a eficiência do uso e conseqüentemente reduzir a quantidade o consumo de água aplicada. Entre as alternativas com potencial, destaca-se tem-se um produto sintético à base de poliácilamida: o polímero hidrorretentor. Ao absorver e liberar a água gradativamente para o substrato, tornando-a disponível para as mudas, o uso desse produto podem reduzir a necessidade de água para irrigação. Além disso, estudos indicam redução da lixiviação de nutrientes, devido à elevada capacidade de troca catiônica presente nos polímeros. E, devido à crescente necessidade do uso racional da água, tem-se pesquisado a utilização dos mesmos durante a produção das mudas no viveiro, visando um manejo de irrigação adequado.

Os polímeros hidrorretentores tem sua capacidade de absorção afetada de acordo com sua composição química e física, e por fatores ambientais, tais como os sais dissolvidos na solução da água circundante. Em função disso alguns resultados de pesquisa têm sido contraditórios, onde o desempenho tem sido afetado pelo modo de aplicação, pela concentração de sais presentes no solo e na água a ser usada, bem como resistência que o meio oferece à sua expansão.

Dessa forma, existe lacunas sobre a caracterização e a aplicação dos polímeros hidrorretentores na produção e no plantio de mudas de espécies florestais, o que embasa o presente estudo. Também cabe elucidar como espécies que apresentam diferentes taxas de crescimento, como o *Enterolobium contortisiliquum* (orelha-de-negro), de rápido crescimento,

e o *Paubrasilia echinata* (pau-brasil), de crescimento lento, irão se desenvolver na fase de mudas na presença de doses crescentes do polímero.

2. HIPÓTESES

- Em função da composição química e física dos polímeros, haverá diferença na curva de absorção de água dos três polímeros hidrorretentores;
- Haverá redução da absorção de água dos polímeros hidrorretentores em função do aumento da condutividade elétrica da água;
- Haverá mudanças nas propriedades físicas do substrato com adição de doses crescentes de polímero hidrorretentor;
- Em função da capacidade de absorção e de liberação gradual de água do polímero hidrorretentor às mudas, haverá redução da necessidade de irrigação conforme houver o aumento da dose de polímero;
- Na condição acima descrita, as mudas terão crescimento e qualidade semelhante ou superior às mudas do tratamento sem adição de polímero hidrorretentor;
- Haverá aumento da sobrevivência das mudas produzidas com doses crescentes de polímero hidrorretentor, assim como às doses de polímero hidrorretentor aplicadas no momento do plantio, em vaso.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

- Avaliar se o uso de polímeros hidrorretentores, adicionado ao substrato, reduz o volume de água de irrigação na produção de mudas de espécies florestais. Avaliar se as doses de polímeros afetam a sobrevivência das mudas após o plantio em campo.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar a curva de absorção de água de três polímeros hidrorretentores em função do tempo;
- Analisar se há influência dos sais na água, por meio da condutividade elétrica, na capacidade da absorção de água de polímeros hidrorretentores;
- Analisar se a adição de doses crescentes de polímero hidrorretentor altera as propriedades físicas do substrato;
- Avaliar se há influência das doses de polímero hidrorretentor misturado ao substrato no crescimento e qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* e *Enterolobium contortisiliquum*;
- Avaliar se as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas com polímero hidrorretentor têm maior sobrevivência após o plantio.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Manejo hídrico

A água é a substância vital que está presente na natureza, componente fundamental para a conservação dos ecossistemas e da vida de toda biota em nosso planeta (WOLKMER & PIMMEL, 2013). Diante de tamanha importância, a diminuição significativa das reservas e disponibilidade de água doce em todo globo tornou-se foco de preocupação dos especialistas e autoridades, considerando que a problemática foi resultante principalmente do mau uso, aliado ao aumento de demanda. É de extrema importância que toda a sociedade esteja consciente das maneiras adequadas de se utilizar os recursos hídricos disponíveis, a fim de minimizar os danos para a natureza.

O atual cenário de desperdício e escassez de água leva à uma crescente demanda por água doce subterrânea, resultando em um esgotamento rápido e alarmante dos aquíferos antes do que se previa, e alguns fatores como ineficiência dos processos de irrigação, que colaboram para o desperdício da água de boa qualidade, elevado crescimento da população de forma desordenada, e consumo exagerado contribuem diretamente para este esgotamento (OLIVO & ISHIKI, 2014).

A agricultura, devido ao uso ineficiente da água e perdas no processo de irrigação, é uma das principais atividades responsáveis pelo elevado consumo de água doce do planeta (BERNARDO et al., 2006). Para adequar o consumo de água em ambientes controlados, e consequentemente tornar a irrigação mais eficiente, faz-se necessária a realização de estudos sobre como reduzir as perdas, reduzindo assim, os custos referentes à utilização de insumos, corroborando para que a atividade agrícola se torne sustentável nos vieses ambientais, sociais e econômicos (MELO JÚNIOR et al., 2013). Atualmente, há equipamentos visando a otimização da irrigação, tal como o acionador simplificado de irrigação de baixo custo, que realiza a irrigação apenas quando solicitado, de acordo com o teor de umidade no solo (SOUSA et al., 2020).

Na silvicultura, do mesmo modo das atividades agrícolas, o uso da água faz-se necessário em todas as fases do processo produtivo, carecendo de tecnologias que otimizem seu uso, considerando a preocupação ambiental e legal. Vale ressaltar que antes da instalação de sistemas de irrigação, deve ser realizado o licenciamento prévio do órgão ambiental competente, estando sua operação condicionada à prévia concessão de outorga de direito de recursos hídricos, como sanciona Política Nacional de Irrigação (BRASIL, 2013).

Segundo pesquisas realizadas pela Agência Nacional de Águas (2019), a agricultura irrigada é a atividade de maior uso de água no Brasil e no mundo. Em nosso país, a prática de irrigação obteve forte expansão com o apoio de políticas públicas, ocorridas durante as décadas de 1970 e 1980. Atualmente, o Brasil está entre os países com maior área irrigada do planeta, embora ainda utilize apenas uma pequena parte do seu potencial para a atividade.

É responsável por 49,8% das retiradas nos corpos hídricos e por 66,1% do uso consuntivo. Em 2018, cerca de $2.048 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água foram retirados dos corpos hídricos, sendo $1.101 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ efetivamente utilizados (ANA, 2019). A demanda por água no país vem crescendo a cada ano, apresentando um aumento estimado de 80% nas últimas duas décadas. Estima-se que, até 2030, essa retirada de água dos corpos hídricos aumente 26%.

Apesar da alta tecnologia e investimentos no setor florestal, é possível observar que em parte dos viveiros comerciais, até mesmo em empresas consolidadas, ainda não há padronização quanto à quantidade de água aplicada às mudas. O manejo da irrigação ainda é realizado de forma subjetiva, embasado, na maioria das vezes, por observações visuais do estado de turgidez

das folhas. Assim, em grande maioria, as irrigações são realizadas em volume superior à necessidade hídrica das plantas, e com alta frequência, levando ao desperdício de água. O sistema de irrigação mais utilizado é a microaspersão, que gera desperdícios em razão de fatores como vento e espaços vazios, além da má distribuição dos aspersores em relação às mudas (AUGUSTO et al., 2007).

Somada às questões ambientais e econômicas, a qualidade das mudas pode ser diretamente afetada pelo manejo hídrico adotado. A fase de crescimento, por exemplo, é uma das etapas que as mudas apresentam maior necessidade hídrica. O excesso de umidade no substrato em função da aplicação excessiva tende a causar perdas de mudas por doenças, apresentando sintomas de encarquilhamento e clorose das folhas, e até mesmo geotropismo negativo das raízes (ALFENAS et al., 2009). Em contrapartida, a escassez desse recurso afeta drasticamente o metabolismo das plantas, principalmente na redução de sua atividade fotossintética, através do fechamento dos estômatos, a fim de evitar a perda de água por transpiração, além de uma série de outros processos nos vegetais (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Diante disto, o uso eficiente da água engloba quaisquer medidas que reduza a quantidade utilizada por unidade de qualquer atividade, favorecendo assim, a manutenção e a melhoria da qualidade da água, sendo básico para o desenvolvimento sustentável e assegurando a existência de recursos suficientes para as próximas gerações, além da qualidade do produto final.

Os diversos tipos de manejo de irrigação podem e devem ser aprimorados visando a redução de perdas, com ganhos de eficiência do uso da água. Quanto maior a eficiência, menores os custos de bombeamento, condução e distribuição da água de irrigação. Assim, a utilização de tais procedimentos torna todo o sistema produtivo técnica, econômica, ambiental e socialmente sustentável (FAGGION et al., 2009).

4.2. Polímero Hidrorretentor

Na busca do aperfeiçoamento do manejo hídrico - visando otimizar a produção, pesquisadores tem buscado técnicas alternativas para melhoria da produtividade e redução de custos. Neste contexto, os polímeros hidrorretentores, produtos sintéticos conhecidos também como géis hidrorretentores, ou polímeros hidroabsorventes, surgem como alternativa interessante, atuando como reguladores da disponibilidade de água e/ou fluídos biológicos no substrato, reduzindo a frequência de irrigação, conseqüentemente, aumentando a produtividade local e minimizando os custos (BRITO et al., 2013; MENDONÇA et al., 2013).

Compostos à base de poliácridamida (TATAGIBA et al., 2019), são interligados por ligações químicas covalentes, formando redes hidrofílicas e tridimensionais (ALBUQUERQUE, 2019). Apresentam uma aparência granular, quando imersos em um ambiente aquoso os polímeros se expandem até o seu volume de equilíbrio, e não se dissolvem devido as suas propriedades físico-químicas (SANTONI et al., 2008).

São classificados quanto a origem, método de preparação, estrutura física e composição química, tipo de *cross-linking* e rede de cargas elétricas (AHMED, 2015). Dentre estes, o polímero utilizado para fins agrícolas integra o grupo no qual a água é acumulada por uma fraca ligação de hidrogênio, liberada gradativamente no decorrer do tempo (BALENA, 1998).

A absorção e retenção de água nas moléculas do produto ocorre por meio da repulsão eletrostática, que ocorre entre as cargas presentes na estrutura do polímero, tornando-se, assim, um gel (VARENNES et al., 1997). Já a retirada da água é realizada por pressão de sucção feita pelas raízes das plantas, ou por evaporação atmosférica. Quando por este, há uma redução gradual do tamanho de suas partículas (COELHO et al., 2008).

Sua capacidade de absorção é afetada pelos seguintes fatores: composição química e física, além dos fatores ambientais, tais como os sais dissolvidos na solução da água circundante

(LANDIS & HAASE 2012). Quando verificada a toxicidade residual do polímero hidrorretentor agrícola, observa-se que o mesmo é formado um produto sintético derivado de petróleo, tendo como produtos finais da dissociação o dióxido de carbono, água e amoníaco, não havendo assim, nenhum problema associado aos seus resíduos (AZEVEDO et al., 2002; AZEVEDO et al., 2006).

O surgimento desse produto se deu na década de 1950, entretanto, os primeiros produtos apresentavam menor absorção de água (20 vezes a sua massa). Posteriormente, a capacidade de retenção de água atingiu valores próximos à 400 vezes a sua massa (AZEVEDO et al., 2002). No Brasil, os estudos com polímeros hidrorretentores ganharam destaque mais tardiamente, apenas em 1998, com os trabalhos desenvolvidos por Balena e Azevedo, em 2000. Atualmente, utiliza-se os polímeros em um conjunto variado de aplicações, mas principalmente para retenção e fornecimento de água para o desenvolvimento das plantas (LANDIS & HAASE, 2012).

Inúmeros estudos comprovam a eficiência do emprego do produto como condicionador de solo e no manejo hídrico, em especial na agricultura e em espécies florestais comerciais de valor econômico. No setor florestal, várias empresas já o utilizam em escala operacional na implantação de povoamentos, reduzindo os custos de replantio de eucalipto em 8% no primeiro ano, podendo chegar ao final do ciclo de sete anos com economia de 3% (NAVROSKI et al., 2014).

Alguns resultados de pesquisa têm sido contraditórios quanto algumas utilizações desses polímeros, considerando-se que os diversos fatores afetam o seu desempenho, tais como modo de aplicação (hidratado ou seco, no fundo do berço de plantio ou misturado ao substrato), disponibilidade de água, concentração de sais presentes no solo e na água a ser usada, bem como resistência que o meio oferece à expansão do polímero (VALE et al., 2006).

Corroborando a isso, Peterson (2003) alertou sobre a cautela na avaliação em cada campo de utilização, como é explicitada por Bowman et al. (1990), justificando a presença acentuada de sais fertilizantes nos viveiros, impedindo ou limitando a capacidade de retenção dos polímeros nos substratos. Apesar disso, alguns trabalhos têm sido reportados abordando a utilização do polímero hidrorretentor em viveiros, seja incorporado ao substrato de produção de mudas florestais como fator isolado, objetivando a melhoria da qualidade das mudas, bem como interagindo com lâminas de irrigação, a fim de se reduzir a quantidade de água utilizada (GOMES, 2006; RODRIGUES, 2007; VERVLOET FILHO, 2011; BERNARDI et al., 2012; RAMOS, 2012).

Assim, pode-se afirmar que os polímeros são importantes aliados na busca pelo uso racional dos recursos hídricos, contribuindo, além da diminuição da necessidade de irrigação, na diminuição da lixiviação de nutrientes, e aumento na taxa de sobrevivência das mudas no campo. Faz-se necessário estudos sobre os diferentes produtos disponíveis no mercado, conjuntamente com as inúmeras condições de produção de mudas e de plantio no campo.

4.3. Uso de espécies nativas no reflorestamento/restauração

Devido à grande expansão imobiliária e agropecuária ocorrida no Brasil, principalmente após a revolução industrial, houve uma significativa redução das áreas com florestas naturais no país. Programas de recuperação de tais áreas a partir do plantio de espécies florestais nativas, principalmente de rápido crescimento, são de extrema importância e, nas últimas décadas, vem se tornando uma atividade crescente, sendo uma das maneiras de intervenção visando minimizar o impacto antrópico na natureza.

A crescente conscientização acerca da importância da preservação da natureza impulsionou a criação e avanço das leis ambientais, estimulando o uso de espécies florestais

nativas na restauração florestal. O próprio Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25/05/2012) e a Instrução Normativa nº 5, de 08/09/2009, ajustam sobre as Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, e apresentam procedimentos metodológicos para restauração e recuperação destas áreas. A Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428 de 26/12/2006) dispõe no artigo Art.36 a criação do Fundo de Restauração do Bioma Mata Atlântica, que fomenta projetos de restauração ambiental e de pesquisa científica e, no Art. 39, estão estabelecidos incentivos fiscais para o proprietário que tenha vegetação primária ou secundária em regeneração (BRASIL, 2006).

Em um projeto de restauração florestal, seleciona-se espécies que pertencem ao ecossistema da região, sempre atento a biodiversidade e funcionamento do sistema. Muito se discute sobre a restauração sob um olhar funcional das espécies, ou seja, a escolha também atinge os diferentes grupos sucessionais de uma floresta sadia partindo da função de cada indivíduo no ambiente, e suas contribuições para regeneração e manutenção da vida no mesmo (GANDOLFI et al., 2009).

Nos reflorestamentos, diante do grau de exploração da área, a atuação de animais dispersores de sementes presentes em áreas remanescentes próximas são de grande valia no incremento de riqueza e diversidade, contribuindo para o sucesso do plantio. Logo, vê-se a importância da escolha de espécies nativas que atraem a fauna local, com diferentes tipos de polinizadores e dispersores.

O sucesso no plantio florestal, com estabelecimento das mudas depende de uma série de fatores como escolha correta das espécies, condições ambientais locais, além dos fatores bióticos (NUNES & SOUZA, 2011). Dessa forma, o uso de nativas, mais uma vez, é favorecido uma vez que estas estão adaptadas às condições edafoclimáticas da região, aumentando a probabilidade de sucesso na sobrevivência das mudas, promovendo “interações interespecíficas”, dificultadas ou alteradas em caso de uso de espécies exóticas.

A emergência de espécies nativas de essência florestal é irregular, sendo necessário um contínuo estudo sobre as condições ideais de produção. Com isso, pode-se obter mudas de qualidade, visando a diversidade de espécies e grupos sucessionais, de forma a favorecer o estabelecimento dos projetos de restauração e reflorestamento.

4.3.1. *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.

Com seus frutos brilhantes e de coloração marrom ao atingir maturidade fisiológica (LORENZI, 1992), em vagens recurvadas em formato de rim ou de orelha, é conhecida vulgarmente como orelha-de-macaco, bem como tamboril e ximbuva, timbaíba, timbó, pacará e tamburé. *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong é uma espécie nativa pertencente à família Fabaceae, de até 20-35 m de altura, encontrada em florestas pluviais e sem decíduas do país, desde Pará até o Rio Grande do Sul (GADELHA et al., 2015).

Em seus frutos e casca encontra-se a saponina, uma substância utilizada na fabricação de sabão. Entretanto, a saponina localizada nos frutos é extremamente tóxica para os herbívoros, e vem sendo fonte de inúmeros estudos que constatarem alterações do sistema digestivo, fotossensibilização, lesões hepáticas e até mesmo aborto, após o consumo das favas por bovinos (RAPOSO et al., 2008; MATOS et al., 2010, GRECCO et al., 2002).

As sementes dessa espécie apresentam dormência devido à impermeabilidade do tegumento à água, tornando sua propagação lenta e desuniforme. No entanto, esta dormência pode ser superada por meio da imersão de ácido sulfúrico ou desponte e lixa do tegumento (LÊDO, 1977; MATOS et al., 2010).

Pioneira, é recomendada na recuperação de áreas degradadas e arborização urbana devido seu grande porte e rápido crescimento inicial. Por apresentar baixa densidade e maciez, sua madeira é amplamente empregada na fabricação de barcos, canoas, móveis e construção

civil (CARVALHO, 2003; CRUZ-SILVA & ROSA, 2012). Sarmiento e Villela (2010) apontaram as possibilidades dessa espécie como fixadora de nitrogênio, alimento animal, melífera, celulose e medicinal. Além de todas as características já citadas é uma espécie que apresenta vários estudos científicos sobre produção de mudas, inclusive sobre o contexto de irrigação, o que permite aprofundar discussões.

4.3.2. *Paubrasilia echinata* Lam.

Espécie com grande apelo histórico, as primeiras expedições às terras brasileiras relataram que o pau-brasil, a *ibirapitanga* dos índios, dispersava-se amplamente pela costa tropical brasileira, com vastas populações facilmente localizadas. Até o final do século XX, devido à intensa exploração econômica, com intuito de atender a indústria para a obtenção de tons de vermelho, o pau-brasil encontrava-se classificado como espécie rara (BUENO, 2002; ROCHA & BARBEDO, 2008). Atualmente, encontra-se na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção (MMA, 2008).

Cesalpinia sappan foi a primeira espécie do gênero *Caesalpinia* comercializada a partir do século XII, para fins de tingimento. Segundo documentos datados da época, era conhecida como *brazilio*, *brazil* ou *brazilleto*, simbolizando o rubro e uma das possíveis fontes da origem do nome brasil. (RESENDE, 2004).

O pau-brasil (*Paubrasilia echinata* Lam.), pertence à família Leguminosae e subfamília Caesalpinioideae, é espécie nativa do Brasil, de ocorrência natural desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro, na floresta pluvial Atlântica (LAMARCA et al., 2009). Possui suas particularidades, uma vez que é endêmica em três diferentes escalas: na global pois é encontrada apenas no bioma de florestas pluviais; nacional, porque ocorre somente no Brasil; e, devido sua ocorrência somente em parte do domínio brasileiro da Floresta Atlântica, é endêmica na escala regional (ROCHA, 2010).

Caracterizada como heliófita ou esciófita, obtém-se maior crescimento e mudas sob condições de maior luminosidade (LORENZI, 1992; AGUIAR et al., 2011). Ostenta um ótimo potencial ornamental, devido sua beleza e raridade, com porte elegante, copa arredondada, folhas verde-brilhantes e flores em cacho amarelo-ouro. Com madeira pesada, dura, exibe cerne de coloração vermelha quando recém cortada (ARAGÃO et al., 2011).

Diante do seu importante contexto histórico-cultural, do nível de ameaça que se encontra e pelo crescimento moderado na fase de produção de mudas, esta espécie apresenta grande interesse na realização de estudos científicos que contribuam com sua conservação.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Todo estudo e análises laboratoriais foram realizadas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, *campus* Seropédica, Rio de Janeiro.

Diante de diversos polímeros hidrorretentores disponíveis no mercado, foram selecionadas três marcas comerciais para análises laboratoriais (Tabela 1), as quais subsidiaram a escolha de uma marca a ser utilizada na etapa de produção e de plantio de mudas. Tais análises foram realizadas no Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas/IF/UFRRJ.

Tabela 1. Atributos físico-químicos dos polímeros hidrorretentores utilizados para análises laboratoriais:

Atributo*	Hydroplan-EB/HyA [®]	Forth [®]	UPDT [®]
Composição	Copolímero de Acrilamida (C ₃ H ₅ NO) e Acrilato de Potássio (K ₂ S ₂ O ₈)	Copolímero de Acrilamida (C ₃ H ₅ NO) e Acrilato de Potássio (K ₂ S ₂ O ₈)	Amido-g-poli (2-propenamida-co-2-ácido propenoico) sal de potássio
Aspecto	Sólido granulado	Pó branco, cor branca	Sólido marrom-claro
Odor	Nenhum	Nenhum	De leve à forte, semelhante ao de amônia. Inodoro na forma de hidrogel.
pH	Não disponível	5-9	6-8
Ingrediente ativo	100%	100%	88%
Densidade	0,8 g/cm ³	0,8 g/cm ³	<1

* Informações obtidas junto aos fabricantes.

5.1. Determinação da curva de absorção de água dos polímeros hidrorretentores

Amostras de 1g de cada polímero hidrorretentor foram colocadas em béqueres com capacidade de um litro, sendo estes preenchidos com 500 mL de água deionizada e cobertos com papel alumínio para evitar a evaporação. Nos intervalos de tempo 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 18 e 24 horas, as amostras em fase de hidratação foram peneiradas em peneira de malha fina para drenagem da água gravitacional (Figura 1), e mensuradas a massa remanescente em balança de precisão (0,01g). O local foi mantido à temperatura constante de 25°C com auxílio de ar-condicionado.



Figura 1. Retirada da água gravitacional do polímero hidrorretentor hidratado.

Após cada pesagem, as amostras eram novamente colocadas nos béqueres para continuar o processo de hidratação até 24 horas. O delineamento adotado para os tratamentos

foi totalmente aleatório, sendo que cada polímero hidrorretentor teve 4 repetições de cada produto comercial, para compor a média, e elaborar a curva de absorção em função do tempo.

5.2. Absorção de água dos polímeros hidrorretentores em soluções salinas com condutividades elétricas crescentes

Amostras de 1g de cada polímero hidrorretentor foram colocadas em béqueres com capacidade de um litro, sendo estes preenchidos com 500 mL de solução salina com condutividades elétricas ajustadas para 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹. Para obtenção das soluções salinas foram utilizados os sais cloreto de potássio (KCl) e cloreto de cálcio (CaCl₂), de forma separada. A escolha desses sais se deu pois a valência dos sais interfere na capacidade de absorção de água pelos polímeros. Sais bivalentes possuem uma maior interação com a água, reduzindo a absorção dos polímeros (BOWMAN et. al, 1990). Após feita a adição os béqueres foram cobertos com papel alumínio para evitar a evaporação.

Após 24 horas de hidratação, as amostras foram recolhidas em uma peneira de malha fina para drenagem da água gravitacional, e mensuradas a massa remanescente em balança de precisão (0,01g).

O delineamento adotado para os tratamentos foi totalmente aleatório no esquema fatorial 3 x 6, sendo três polímeros hidrorretentores e seis condutividades elétricas, totalizando 18 tratamentos. Cada polímero hidrorretentor teve 4 repetições para compor a média e ajustar as equações de absorção em função das condutividades elétricas. A análise de cada sal utilizado foi realizada separadamente.

5.3. Análise dos substratos

As caracterizações físicas do substrato agrícola comercial Mecplant® Florestal adicionado às diferentes doses do polímero hidrorretentor Hydroplan® foram realizadas no Laboratório de Retenção de Água no Solo, localizado no Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia, desta Universidade. Mecplant® consiste em um condicionador de solo produzido a partir de casca de pinus bioestabilizada. É utilizado usualmente em viveiros comerciais na propagação de espécies por sementes em tubetes, apresentando bom custo-benefício para produtor (ABREU et al., 2017a).

Os ensaios seguiram os padrões estabelecidos pela instrução normativa nº 17 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). Para a realização das análises, foram retiradas amostras de 2,5 litros de cada mistura antes e após o crescimento das mudas em viveiro, contendo as diferentes doses do polímero (2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 g L⁻¹), além da testemunha, utilizados na produção das mudas.

Os parâmetros físico-hídricos do substrato foram obtidos por meio do método de evaporação simplificado (SCHINDLER, 1980), operacionalizado pelo equipamento comercial Hyprop® (PERTASSEK, 2015). Dentre os atributos físicos relativos à densidade e umidade do substrato foram avaliadas a densidade seca (kg m⁻³), umidade (%) e porosidade total (%).

A caracterização química do substrato foi realizada conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) e a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) (1996), na EMBRAPA Agrobiologia, sediada no município de Seropédica, Rio de Janeiro (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas do substrato.

**N	*P	*K	*Ca	*Mg	*Al	*Zn	*Fe	*Mn	*Cu
g kg ⁻¹									
18,9	4,2	0,63	17,8	3,1	8,6	0,63	14,9	0,19	0,11

** N total - Digestão Sulfúrica - Tedesco 1995; * Teores totais - Digestão Nítrica - USEPA 3050B

5.4. Crescimento das mudas sob diferentes doses de polímeros incorporadas no substrato

As mudas foram produzidas nas estruturas do Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão” do Departamento de Silvicultura, Instituto de Florestas, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw ou Tropical do Brasil Central (ABREU, 2017). A temperatura média anual é de 23,9°C, com precipitação de 1.213 mm, apresentando período de seca nos meses de junho a agosto, e excedentes hídricos de dezembro a fevereiro (CARVALHO et al., 2011).

Utilizou-se tubetes de 280 cm³, com oito estrias internas e como estrutura de suporte a bandeja do tipo caixa com capacidade de 54 células (227 mudas m⁻²), com aproveitamento de 12 células. Foi adotado o método de semeadura manual direta, colocando duas sementes por recipiente, com posterior desbaste, deixando a plântula de maior vigor e centralizada.

Durante as primeiras semanas de crescimento, até atingirem altura média de 10 centímetros, as mudas permaneceram no viveiro sob irrigação de aproximadamente 15 mm dia⁻¹. Então foram transportadas para a casa de vegetação, dispostas em bancadas de ferro com 80 cm de altura (Figura 2). Para controle de temperatura, acionava-se o ventilador automaticamente, mantendo a temperatura média no interior entre 30 e 40°C. Receberam, por oito dias, 10 mL de água dia⁻¹, divididos em 2 aplicações, no período da manhã e tarde, com auxílio de seringa graduada para uniformização da umidade dos substratos. Após, foi instalado o sistema de controle da irrigação.



Figura 2. Infraestrutura montada no interior da casa de vegetação.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (Figura 3) utilizando-se o polímero hidrorretentor da marca Hydroplan[®], que obteve resultados mais satisfatórios nas análises laboratoriais, além de ser o produto comercial mais utilizado nos cultivos florestais (MONTEIRO NETO et al., 2017) para duas espécies de essência florestal (*Paubrasilia echinata* e *Enterolobium contortisiliquum*). Três diferentes doses foram incorporadas ao substrato (2,0; 4,0 e 6,0 g L⁻¹ de substrato), mais a testemunha (sem adição do polímero hidrorretentor), totalizando quatro tratamentos, para as duas espécies. Cada tratamento foi composto por seis repetições de quatro mudas, e cada espécie constituiu um experimento.

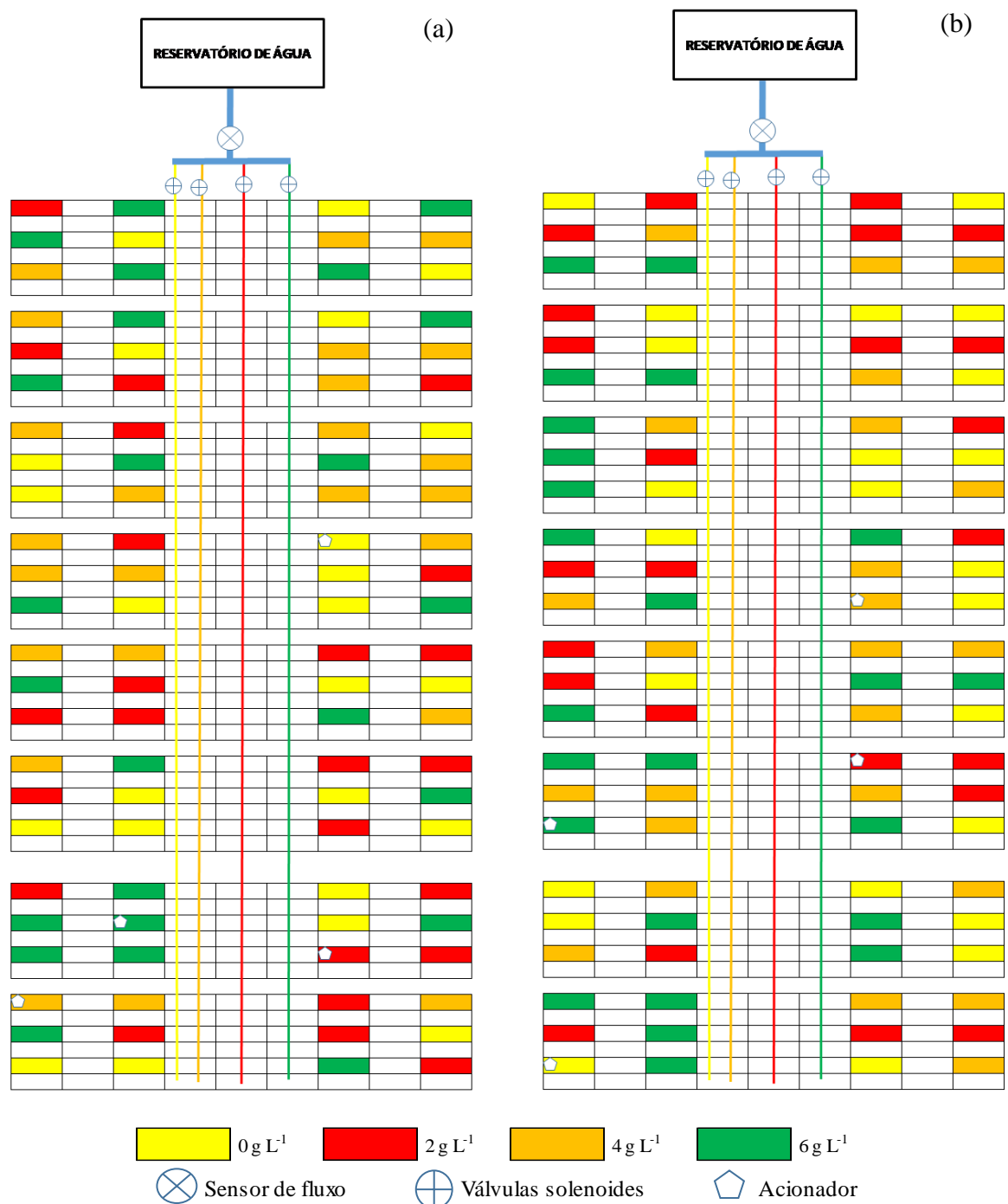


Figura 3. Croqui do delineamento experimental das espécies *Enterolobium contortisiliquum* (a) e *Paubrasilia echinata* (b).

O sistema de irrigação por gotejamento foi controlado por meio do “acionador simplificado para irrigação” (MEDICI et al., 2010), que utiliza apenas uma válvula solenoide e uma cápsula de cerâmica ou vela de filtro, conectados à um tubo plástico e um pressostato de máquina de lavar roupas doméstica (Figura 4 a). O mesmo foi totalmente preenchido com água e então, a cápsula de cerâmica é inserida no substrato, a uma profundidade correspondente à profundidade efetiva de exploração do sistema radicular da espécie (Figura 4 b).

Quando ocorre evaporação e transpiração vegetal, há diminuição do conteúdo de água no substrato, gerando uma tensão dentro da cápsula, que é transmitida pelo tubo flexível até o

pressostato. Logo, o diafragma do pressostato aciona um componente que estabelece o circuito elétrico permitindo a abertura da válvula solenóide e, conseqüentemente, a passagem da água para a tubulação do sistema de irrigação, irrigando individualmente cada tubete através de microtubos (Figura 4 c). A irrigação foi realizada por gotejamento, utilizando microtubos tipo espaguete (Plasnova, mod. PDAEXT001000354), com 0,8 mm de diâmetro nominal e comprimentos de, aproximadamente, 1,5 m.

Foram instalados 8 acionadores, um para cada tratamento de cada experimento, regulados de forma que a liberação da água ocorresse quando a tensão no solo atingisse um valor de, aproximadamente, - 4kPa, de tal modo que o substrato atingisse pontos próximos à capacidade de campo, sem permitir a entrada de ar no sistema através das cápsulas porosas.

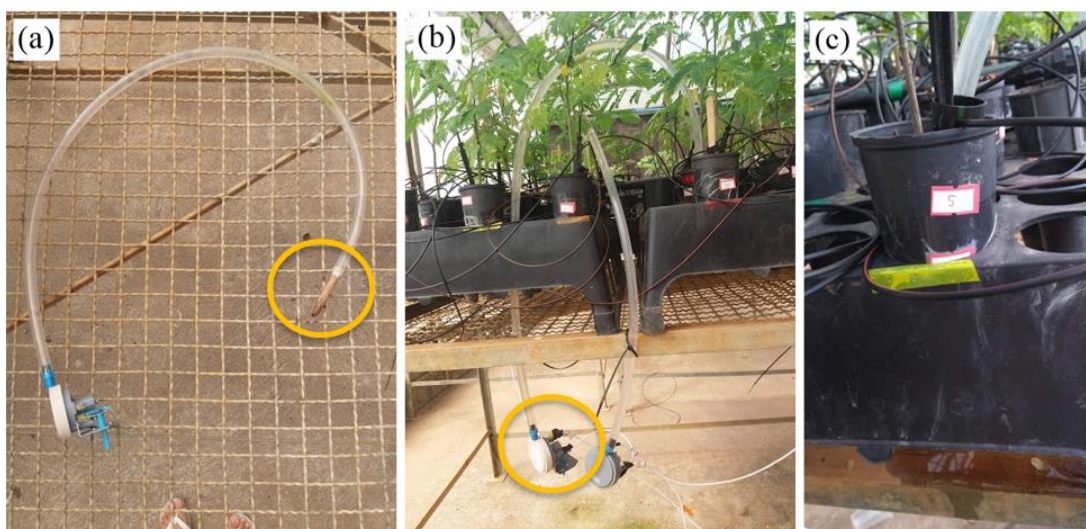


Figura 4. Sistema de controle de irrigação simplificado: cápsula de cerâmica ligada a um pressostato por uma mangueira plástica (a), cápsula inserida no substrato, a uma profundidade correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular, e pressostato a 40 cm abaixo da cápsula de modo a permitir a pressão desejada (b), e detalhe do microtubo irrigando um tubete individualmente (c).

Foram realizados ensaios para obtenção do Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) em cada tratamento, utilizando-se o método proposto por Mantovani et al. (2009). A avaliação do sistema de irrigação antes da implantação do mesmo é de extrema importância, uma vez que, se acionado com baixa uniformidade de distribuição de água, alguns indivíduos irrigados pelo sistema receberão mais água, resultando em um desenvolvimento desuniforme dentro da área irrigada (CAMPÊLO et al., 2014).

Desenvolvido por Christiansen (1942), o CUC adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (Equação 1). O CUD, proposto por Criddle et al. (1956), e considera a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (Equação 2). O valor de CUD expressa a perda de água por percolação profunda quando a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina necessária.

Os Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) mostraram-se satisfatórios, com valores acima de 95% (Tabela 3). Tais parâmetros são considerados excelentes quanto à uniformidade quando apresentam coeficientes

acima de 90%, bom entre 80-90%, regular de 70% a 80%, ruim de 60% a 70%, e inaceitável abaixo de 60% (PAULINO et al., 2009).

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right\} \quad (1)$$

$$CUD = 100 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (2)$$

Em que:

X_i - Vazão de cada microtubo, em $L h^{-1}$;

\bar{X} - Vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$;

n - Número de microtubos observados; e

$X_{25\%}$ - média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões, em $L h^{-1}$.

Tabela 3. Valores de Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), e vazão para cada tratamento.

Espécie	Tratamentos	CUC	CUD	Vazão ($L h^{-1}$)
<i>Paubrasilia echinata</i>	0 g L^{-1}	91,67	95,05	0,81
	2 g L^{-1}	96,55	96,62	0,75
	4 g L^{-1}	95,61	95,33	0,56
	6 g L^{-1}	95,49	95,61	0,77
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	0 g L^{-1}	95,83	95,00	0,58
	2 g L^{-1}	96,26	96,00	0,48
	4 g L^{-1}	95,27	95,42	0,49
	6 g L^{-1}	96,41	95,81	0,50

O substrato utilizado recebeu fertilização de base e de cobertura. A fertilização de base realizada misturou 150 g de N, 300 g de P_2O_5 , 100 g de K_2O e 150 g de FTE BR12 (3,9% S; 1,8% B; 0,85% Cu; 2,0% Mn; 9,0% Zn) para cada m^3 de substrato. A fertilização de cobertura foi realizada aplicando-se 10 ml por muda de uma solução nutritiva composta por 200 g de N e 180 g de K_2O para 100 Litros de água, com auxílio de seringa graduada. A primeira fertilização de cobertura foi após a implantação do sistema de irrigação na estufa, 15 dias após o transplante para a estufa, repetindo-se a cada quinze dias para a fertilização nitrogenada, e a cada 30 dias para fertilização potássica.

5.5. Avaliação do desempenho das mudas em viveiro

Foram avaliados os seguintes parâmetros morfológicos: altura de parte aérea (H em cm), diâmetro de colo (DC em mm), área foliar (AF em cm^2), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA em g por muda), massa de matéria seca de raízes (MSR em g por muda) e massa de

matéria seca total (MST em g muda⁻¹). Para determinação de tais parâmetros, foram utilizados paquímetro digital, régua numerada, balança de precisão e medidor de área foliar LICOR-3600.

Os parâmetros altura e diâmetro do colo foram mensurados a cada 20 dias, do primeiro dia após a instalação do sistema de controle de irrigação na casa de vegetação até 60 dias após (DAT) para mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e até 120 dias para as mudas de *Paubrasilia echinata*, que por apresentar ritmo de crescimento mais lento demandou mais tempo. Aos 60 e 120 DAT, seis mudas com altura mais próxima da média foram selecionadas para separação da parte aérea e das raízes. As folhas, assim que separadas da haste, tiveram a área foliar mensurada e na sequência foram acondicionadas em sacos de papel para secagem, sendo realizado o mesmo para a haste (caule).

O sistema radicular foi lavado em água corrente para retirada das partículas do substrato, depois foi exposto ao sol para retirar o excesso de água e acondicionado em sacos de papel para secagem. Todas as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65° C, até a obtenção do peso constante, para então serem determinados as massas de matéria seca.

Foi estimado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), por meio da seguinte fórmula (Equação 3) (DICKSON et al., 1960):

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (3)$$

Onde:

MST - Massa seca total, em g muda⁻¹;

H - Altura da parte aérea, em cm;

DC - Diâmetro do colo, em mm;

MSPA - Massa seca da parte aérea, em g muda⁻¹;

MSR - Massa seca radicular, em g muda⁻¹.

5.6. Necessidade hídrica de espécies florestais

Para o monitoramento do momento e tempo de irrigação foi instalado um sistema eletrônico de coleta e armazenamento de dados (Figura 5), composto por um Arduino Mega programado para efetuar leitura a cada segundo, Cartão SD e divisores de tensão instalados em cada tratamento, de modo que quando o acionador promovia uma irrigação era gerado um nível alto na porta analógica do controlador, indicando o início e o final da irrigação.

Para evitar a percolação, o acionador estava programado para permanecer ligado durante 10 segundos, desligando posteriormente. Caso o sistema indicasse que ainda era necessária a irrigação, ligava novamente por mais 10 segundos. Este esquema era repetido até que a tensão no interior do micro tubo terminasse. Com os valores de tempo de irrigação e a vazão, previamente calculada, obteve-se o volume de água aplicado a cada irrigação, caracterizando a necessidade hídrica das espécies estudadas.

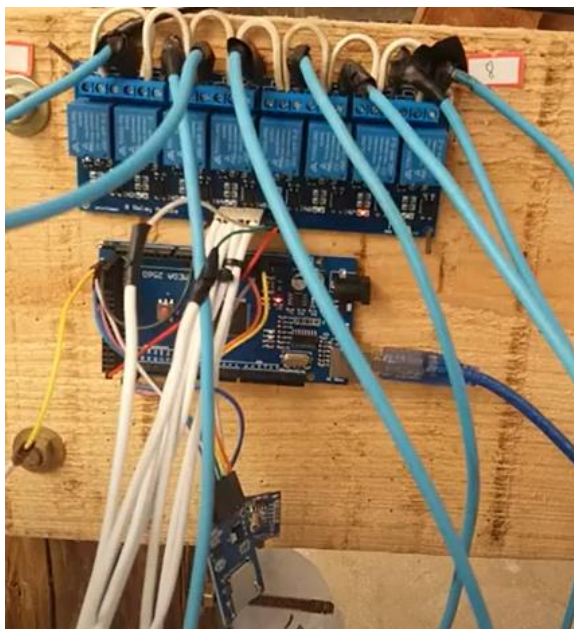


Figura 5. Sistema eletrônico de coleta e armazenamento de dados.

O cálculo dos indicadores de produtividade de água (PA) tem relevância uma vez que possibilita a comparação do impacto de determinado uso no meio ambiente, e no meio social, a capacidade de a água recebida pela cultura converter foto assimilados em biomassa (SILVA et al., 2014). Vazifedoust et al. (2008) definiram tal produtividade com base na evapotranspiração acumulada da cultura, comparando-se a produção da cultura e a evapotranspiração. Para este estudo considerou-se a evapotranspiração da cultura como sendo o volume de água irrigado no período experimental. Neste estudo, foi proposto que a produção das mudas em viveiro fosse mensurada de acordo com a massa de matéria seca total (Equação 4).

$$PA_{ET} = \frac{MA}{V_i} \quad (4)$$

Em que:

- PA_{ET} - produtividade da água com base na evapotranspiração acumulada, em $g\ mL^{-1}$;
- MA – massa de matéria seca total (g);
- V_i - volume irrigado acumulado, em mL.

5.7. Sobrevivência das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* em vasos

Ao atingirem altura média de 25 centímetros foi montado o experimento em vaso (Figura 6), simulando condições de plantio em campo. O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, sendo o fator 1 as mudas originárias das diferentes doses do experimento de produção de mudas (0, 2,0; 4,0; e 6,0 $g\ L^{-1}$) e o fator 2, doses de polímero hidrorretentor incorporados a cova de plantio (0; 1,5; 3,0 e 6,0 g por cova), totalizando 16 tratamentos. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, totalizando 64 vasos.

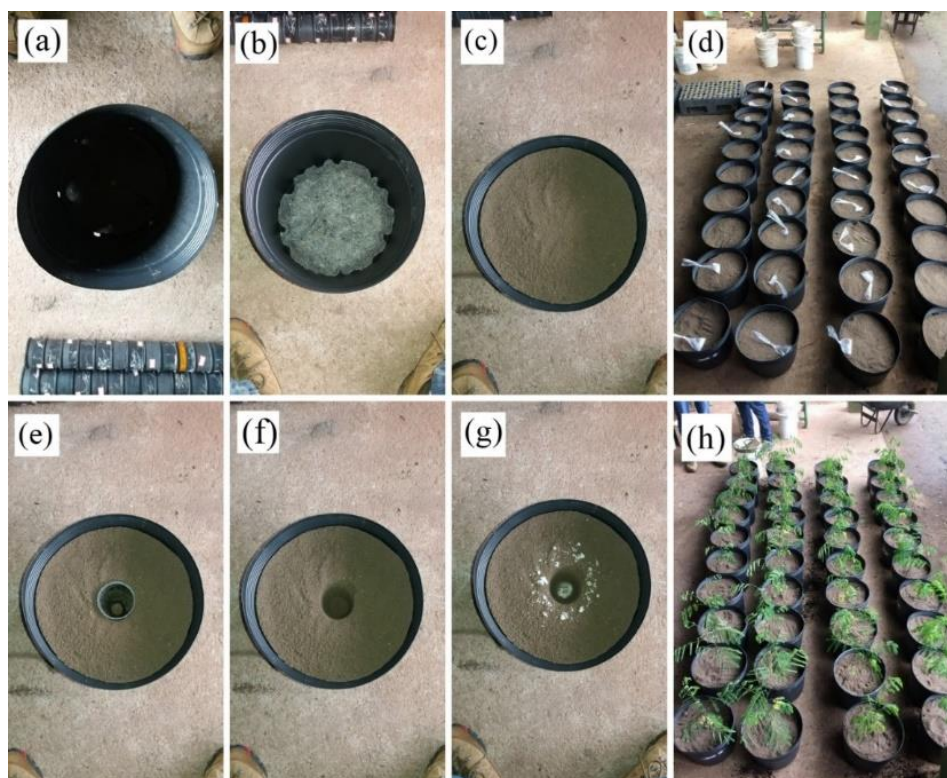


Figura 6. Sequência de montagem dos vasos simulando plantio em campo: vasos com capacidade de 12 litros perfurado (a); fundo protegido com manta asfáltica para não haver perda de solo (b); vaso preenchido com solo previamente seco e peneirado (c); identificação do vaso e distribuição das doses de polímero hidrorretentor (d); com auxílio do tubete de 280 cm³, preparo do “berço” para colocação da muda (e, f); distribuição da dose de polímero hidrorretentor no interior e entorno do “berço” com posterior incorporação ao solo (g); e, plantio das mudas (h).

As embalagens plásticas de 12 L foram preenchidas com 9,4 litros de solo de textura média coletados na região do estudo. O material de solo foi seco ao ar e peneirado para melhor homogeneização e em uma amostra foi realizada análise química de nutrientes (Tabela 4). Não foi realizada numa fertilização de base e de cobertura. A área experimental foi montada dentro da casa de vegetação localizada no setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da UFRRJ, sendo coberta com sombrite e plástico agrícola de 100 micra. Os vasos foram dispostos de forma totalmente aleatória no espaçamento entre vasos de 0,3 x 0,3 m (Figura 7).

Tabela 4. Análise química do solo utilizado para preenchimento dos vasos.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
cmolc dm ⁻³						
5,3	3,1	0,08	0,63	0,17	0,1	1,32



Figura 7. Disposição dos vasos no interior da casa de vegetação.

No momento do plantio das mudas foi aplicado 1,93 litros de água de abastecimento, volume calculado para atingir a umidade correspondente à capacidade de campo do solo (CC). A determinação da CC foi realizada previamente em ensaio na mesa de tensão e equivale ao conteúdo de água retido presente no solo após cessada a drenagem e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, tornando-se desprezível (ANDRADE & STONE, 2010). Na prática, a CC representa o limite onde não há desperdício de água, e a planta consegue absorvê-la sem causar estresse hídrico. Posteriormente não foi realizada mais irrigações.

A avaliação da sintomatologia do estresse hídrico das mudas foi observada a cada 2 dias, anotando-se o número de dias que permanecia em cada condição, seguindo os critérios de análise adotados por Navroski et al. (2014):

SEM – planta sem sintomas: planta túrgida, visualmente vigorosa, sem sintomas de déficit hídrico (Figura 8a);

PSM – planta com sintomas de murcha: ápice e folhas murchas (Figura 8b);

SSM – planta com sintomas severos de murcha: presença de folhas secas e/ou em abscisão (Figura 8c).

Quando apresentaram folhas e caule completamente secos, foram consideradas mortas (Figura 8d). E, para sobrevivência adotou-se a data em que as plantas apresentaram estes últimos sintomas.



Figura 8. Critérios para classificação da sintomatologia de estresse hídrico das plantas nos vasos. (a) – plantas sem sintomas, (b) – plantas com sintomas de murcha, (c) – plantas com sintomas severos de murcha, e (d) – plantas mortas.

5.8. Análise estatística

Os dados de absorção de água dos diferentes polímeros, crescimento das mudas em viveiro e simulação de campo, e irrigação foram analisados estatisticamente a 5% de significância. Inicialmente, foram feitos os testes de normalidade de resíduos (Shapiro-Wilk), e homogeneidade de variância (Bartlett Test). Ao atender estes pressupostos, os mesmos foram submetidos a análise de variância e o teste de Tukey, realizadas pelo *software* R 4.0.3. As análises de regressão foram realizadas no *software* SigmaPlot 14.5.

6. RESULTADOS

6.1. Curva de absorção hídrica em função do tempo em água deionizada

A curva de absorção dos polímeros hidrorretentores em função do tempo (Figura 9), bem como o ajuste das equações (Tabela 5), apresenta rápida absorção em todos os polímeros analisados nas primeiras horas, o mesmo observado por Gervásio & Frizzone (2004), analisando o produto comercial TerraCottem[®].

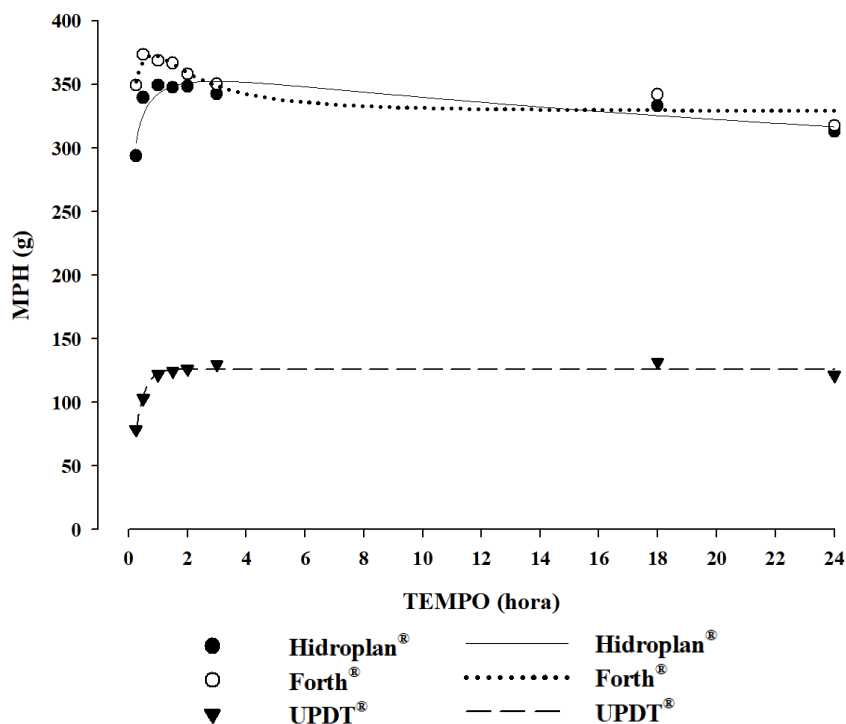


Figura 9. Curva de absorção hídrica em função do tempo. Legenda: MPH = massa do polímero hidrorretentor hidratado.

Tabela 5. Equações da curva de absorção de água ajustadas para os polímeros hidrorretentores em função do tempo.

Polímeros	Equação	R ²
Hydroplan-EB/HyA [®]	$y = 352,57 e^{\left[-0,5 \left(\frac{\ln\left(\frac{x}{2,95}\right)}{4,54}\right)^2\right]}$	74,9%
Forth [®]	$y = 329,30 + 43,89 e^{\left[-0,5 \left(\frac{\ln\left(\frac{x}{0,80}\right)}{1,04}\right)^2\right]}$	74,23%
UPDT [®]	$y = 126,22 (1 - e^{(-3,65x)})$	95,6%

Em apenas 15 minutos, a marca comercial Forth[®] absorveu cerca de 349g de água, Hydroplan[®] 294g e o UPDT[®] 78g (Figura 10). Esta rápida absorção inicial é uma característica dos polímeros e também foi verificada por Bowman et. al (1990), atingindo aproximadamente 400 vezes seu peso inicial nas primeiras 3 horas de teste.

O ápice de absorção para o Forth[®] ocorreu aos 30 minutos com valor de 374g e para o Hydroplan[®] ocorreu aos 60 minutos com absorção de 349g. Ambos chegaram próximo aos limites estabelecidos pelos fabricantes, cerca de 400g de água para cada 1g de polímero. Esta alta capacidade de absorção de água observada nos polímeros de poliacrilamida corrobora com os resultados obtidos por Wang & Gregg (1990), de acordo com as características dos polímeros analisados e condutividade da água utilizada, superando resultados obtidos por Prevedello & Balena (2000), testando TerraCottem[®], que obtiveram um pouco mais de 200 g do seu peso inicial.

O polímero hidrorretentor de origem vegetal UPDT[®] alcançou valores de retenção abaixo dos demais, tendo o valor máximo de apenas 137 vezes do seu peso inicial, obtido após 3 horas do início do teste. Bortolin et al. (2012) e Sabadini (2015) concluíram que polímeros

constituídos a partir de componentes naturais tendem a apresentar propriedades mecânicas insatisfatórias quanto à sua propriedade de retenção de água, apresentando valores de absorção menores que os produtos de base sintética.

Apesar dos valores inferiores encontrados nos polímeros de origem natural, muito tem-se questionado sobre o impacto ambiental da degradação de polímeros sintéticos, os mais utilizados na agricultura (LIMA & SOUZA, 2011), compostos por monômeros derivados de acrilamida, que, em conjunto, formam o polímero de poli(acrilamida).

Logo, diversos autores têm analisado a biodegradação dos polímeros e seus efeitos no solo. Na natureza, o polímero sofre degradação principalmente pelo ferro, uréia (utilizada com frequência nos solos como fertilizante), e até mesmo a radiação ultravioleta, que altera sua estrutura química, iniciando um processo de degradação, com liberação de acrilamida, a partir da quebra das ligações C-C (YANG, 2000; FREITAS et al., 2019).

Prabu e Thatheyus (2007), no entanto, constaram que a acrilamida é rapidamente metabolizada por bactérias *Pseudomonas aeruginosa* no solo como fonte de N e C. Diversos outros estudos comprovam que bactérias presentes no solo metabolizam rapidamente a acrilamida, e utiliza a amida como fonte de N (ALBUQUERQUE, 2019).

Foi constatado ainda, que grupos de amida foram metabolizados em íon amônio (NH_4^+) e ácido acrílico, que podem ser absorvidos por plantas e/ou adsorvidos ao solo ou matéria orgânica (HAVEROENA et al., 2005). Logo, mesmo com a liberação de acrilamida no solo, esta é aproveitada pela biomassa microbiana presente no meio, rebatendo tais questionamentos sobre o uso de polímeros de origem sintética.

Dessa forma, produtos sintéticos, por apresentarem maior capacidade de absorção hídrica podem ser priorizados já que os riscos ambientais são relativamente baixos.

6.2. Capacidade de absorção em diferentes concentrações de sais

Após os ensaios realizados em laboratório, foram ajustadas as equações (Tabela 6) e montadas as curvas de absorção de água em diferentes concentrações de sais (Figura 10). Os polímeros hidrorretentores atuam de modo diferente quando saturados em concentrações salinas, de acordo com a condutividade utilizada e o sal. Verifica-se que a capacidade de absorção dos polímeros é reduzida quando submetido a presença de sais, tendo como referência a água deionizada ($0,002986 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C).

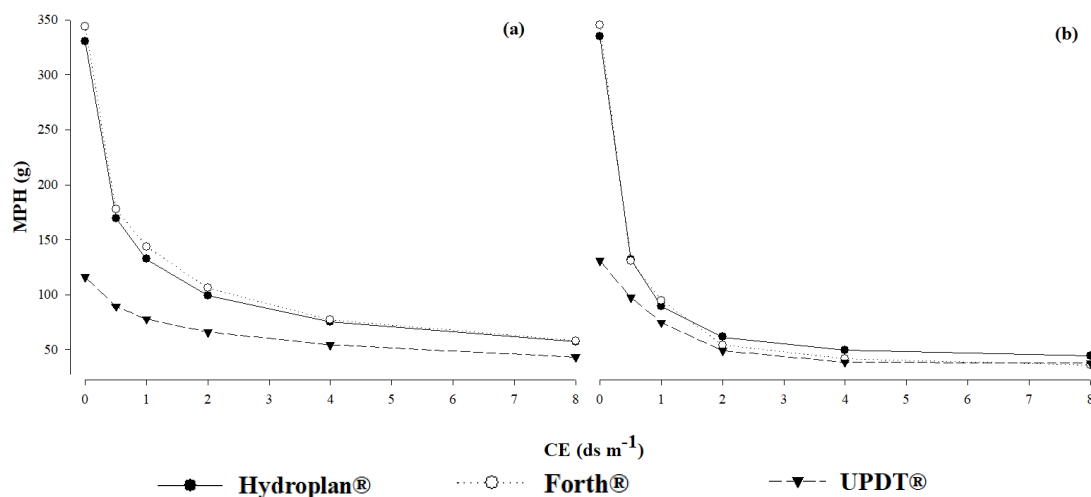


Figura 10. Absorção de água em soluções de cloreto de potássio (a) e cloreto de cálcio (b). MPH = massa do polímero hidrorretentor hidratado, CE = condutividade elétrica.

A solução salina com cloreto de cálcio (CaCl₂), cátion bivalente, proporcionou maior redução na capacidade de absorção de água pelos polímeros do que a solução salina com o cloreto de potássio (KCl), monovalente. Houve redução em média de 97,5%, 94,6%, e 90,5% na presença de sais de CaCl₂, e 82,7%, 83,1%, e 62,7% na absorção dos polímeros Hydroplan[®], Forth[®] e UPDT[®], respectivamente, quando hidratados em soluções de KCl (Figura 10).

Semelhante ao observado por Coelho (2004), analisando a capacidade de absorção do “hidratassolo”, que teve sua capacidade de absorção reduzida em 94,7% e 80,7% para os mesmos sais, quando utilizada uma condutividade elétrica de 8 dS m⁻¹. Isto pode ser explicado pelas fortes interações que os cátions bivalentes estabelecem com as moléculas dos polímeros, deslocando as moléculas de água encontradas no interior dos mesmos, substituindo-as (BOWMAN et al., 1990).

Mesmo em baixos valores de condutividade elétrica da água houve significativa redução da absorção de água dos polímeros, demonstrando que a presença de sais na água é fator limitante de sua capacidade de absorção (Figura 10). Gervásio e Frizzone (2004) observaram redução significativa da absorção do polímero TerraCotem[®] em condutividade elétrica de aproximadamente 1,5 dS m⁻¹, enquanto no presente estudo isso foi observado com aproximadamente 1,0 dS m⁻¹.

Tabela 6. Ajuste das equações da absorção dos polímeros sob crescentes concentrações de sais.

Polímero hidrorretentor	Sal da solução salina	
	KCl	CaCl ₂
Hydroplan-EB/HyA [®]	$y = 74,03 + 252,66 e^{(-1,67x)}$ (R ² = 97%)	$y = 26,72 + 305,87 e^{(-2,36x)}$ (R ² = 99,3%)
Forth [®]	$y = 76,05 + 263,18 e^{(-1,56x)}$ (R ² = 96,4%)	$y = 340,16 e^{(-1,88x)}$ (R ² = 97,5%)
UPDT [®]	$y = 46,67 + 66,47 e^{(-0,71x)}$ (R ² = 96,9%)	$y = 111,12 e^{(-0,76x)}$ (R ² = 97,7%)

O resultado obtido tem uma aplicação prática muito relevante, pois muitas vezes a qualidade com relação a presença de sais não é pesada quando na sua captação nos cursos d’água. Também é importante considerar que no processo de produção de mudas podem ocorrer fertilizações de cobertura com fertilizantes solúveis, entres eles o KCl, e que isso poderá reduzir, ou até anular, a capacidade de retenção e de disponibilização de água dos polímeros hidrorretentores às mudas.

6.3. Atributos físicos do substrato

A capacidade de armazenamento de água no substrato influencia na qualidade das mudas, e está associada às características físicas do substrato (MAEDA et al., 2007). Houve baixas variações de densidade de partícula (Dp), densidade do substrato (Ds) e porosidade no substrato entre o início e o final da fase experimental, ou entre os tratamentos, não apresentando diferenças significativas estatisticamente (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de densidade de partícula (Dp), densidade do substrato (Ds); e porosidade total (PT) dos substratos, nos diferentes tratamentos, antes e depois da experimentação.

Tratamento	Dp		Ds		PT	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
	g cm ⁻³				%	
0 g L ⁻¹	1,19	1,20	0,38	0,31	68,1	74,1
2 g L ⁻¹	1,19	1,20	0,34	0,31	70,9	74,4
4 g L ⁻¹	1,20	1,13	0,35	0,31	70,9	72,3
6 g L ⁻¹	1,08	1,15	0,36	0,30	67,0	74,4

Os valores de densidade do substrato foram semelhantes aos encontrados por Abreu et al. (2017b), estudando o mesmo substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. A diminuição da densidade do solo após o experimento corrobora com resultados encontrados por Bai et al. (2010) e Baran et al. (2015), onde tiveram redução da densidade em experimentos montados em casa de vegetação.

Os valores de porosidade foram semelhantes aos obtidos por Abreu et al. (2017b), - que obteve valor de porosidade total de 67,9% -, somente quando comparado com o substrato anteriormente à produção de mudas. Se observados os valores pós experimento no presente estudo, houve um aumento na porosidade. Em análises laboratoriais, o aumento de tamanho das partículas dos polímeros no umedecimento provoca o deslocamento da massa do solo para fora do anel, com propensão ao aumento da porosidade total (PALUSZEK, 2010; 2011).

Mesmo com aumento da porosidade, os valores encontrados estão próximos à faixa adequada para produção de mudas, que é de 75 a 85% (GONÇALVES & POGGIANI, 1996). Por outro lado, Pacheco & Franco (2008) alcançaram valores superiores para porosidade (77%), analisando o mesmo substrato.

6.4. Crescimento das mudas

Quando as mudas ainda estavam no viveiro e não havia controle da irrigação, a espécie *Enterolobium contortisiliquum* apresentou crescimento em altura (H1) superior no tratamento com 4,0 g L⁻¹ em relação ao tratamento sem polímero (0 g L⁻¹), não ocorrendo diferenças nas demais comparações (Tabela 8). Para o diâmetro do colo (DC1) o tratamento com 4,0 g L⁻¹ foi superior aos tratamentos 0,0 e 2,0 g L⁻¹, não ocorrendo diferenças nas demais comparações.

Tabela 8. Crescimento em altura (H) e em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* após a implantação do sistema de controle de irrigação em substratos com diferentes doses de polímero hidrorretentor incorporado.

Tratamentos	Parâmetros morfológicos							
	H1	H20	H40	H60	DC1	DC20	DC40	DC60
	cm				mm			
0 g L ⁻¹	11,3 b	15,4 a	22,3 a	28,4 ab	4,04 b	4,40 b	4,73 b	5,33 ab
2 g L ⁻¹	12,6 ab	16,3 a	20,4 a	26,0 b	4,23 b	4,43 b	4,64 b	4,75 b
4 g L ⁻¹	14,8 a	18,3 a	21,7 a	27,8 ab	5,31 a	5,71 a	5,65 a	5,84 a
6 g L ⁻¹	13,8 ab	17,1 a	22,1 a	32,1 a	4,86 ab	5,01 ab	5,03 ab	5,15 b

Legenda: medidas realizadas aos 1, 20, 40 e 60 dias após implantação do sistema de controle de irrigação. Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Durante o período prévio, a lâminas de água podem ter sido aplicadas em excesso, lixiviando os nutrientes presentes no meio, e com possibilidade de prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular (FREITAG et al., 2012).

Aos 60 dias sob controle de irrigação, houve diferença estatística no parâmetro altura, com maior incremento na dose de 6 g L^{-1} , e, quando analisado o diâmetro de coleto, o tratamento de 4 g L^{-1} mostrou-se superior estatisticamente. Os resultados foram semelhantes ao observado por Mews et al. (2015) que obteve maior incremento das mudas de *Handroanthus ochraceus* frente às mudas produzidas sem a presença dos polímeros no substrato. Bernardi et al. (2012) também constataram acréscimos de 22,99% em altura e 23,12% em diâmetro do coleto em mudas de *Corymbia citriodora* produzidas com adição de polímero no substrato, quando comparadas com mudas produzidas sem a adição do produto.

No cotidiano dos viveiristas, comumente é utilizada a variável altura para expedição das mudas para o plantio, seguindo do diâmetro do coleto como auxiliar na seleção (BERNARDI et al., 2012). A altura da parte aérea fornece uma boa estimativa do crescimento das mudas no campo, além de fácil mensuração. Entretanto, recomenda-se uma análise em conjunto com os demais parâmetros para uma predição mais adequada do crescimento pós-plantio (SAIDELLES et al., 2009).

Durante o experimento em estufa, as mudas só receberam irrigação quando ativada pelo acionador, logo, não ficam com déficit ou excesso de água no substrato, proporcionando um melhor cenário de desenvolvimento para todos os tratamentos. Somado a isto, além da finalidade de absorção de água e posterior liberação ao substrato, durante o processo de hidratação em um meio com sais, os íons dos mesmos ficam adsorvidos nas moléculas dos polímeros, sendo liberados gradativamente, podendo se tornar livres para a planta, processo que pode ter auxiliado neste maior desenvolvimento (GERVÁSIO & FRIZZONE, 2004).

Para as mudas de *Paubrasilia echinata*, não foi verificada diferença significativa no parâmetro altura até os 100 dias de produção sob manejo automatizado, sendo obtidos maiores valores para os tratamentos com 2,0 e $4,0 \text{ g L}^{-1}$ de substrato, em declínio do tratamento com 6 g L^{-1} quando alcançado os 120 dias (Tabela 9). Tal fato pode ser explicado pela dinâmica de crescimento da espécie, que apresenta crescimento lento, e, analisando em conjunto com demais parâmetros, pode-se inferir que a dose de 6 g L^{-1} pode ter sido prejudicial à muda a longo prazo.

Tabela 9. Crescimento médio em altura (H) e em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Paubrasilia echinata* após a implantação do sistema de controle de irrigação em substratos com diferentes doses de polímero hidrorretentor incorporado.

Tratamentos	Parâmetros morfológicos													
	H1	H20	H40	H60	H80	H100	H120	DC1	DC20	DC40	DC60	D80	DC100	DC120
	cm							mm						
0 g L ⁻¹	9,0 a	9,9 a	10,9 a	11,6 a	12,0 a	12,5 a	14,3 ab	2,68 a	2,87 a	3,11 a	3,11 a	3,08 a	3,15 a	3,24 a
2 g L ⁻¹	9,0 a	10,3 a	11,2 a	12,1 a	12,4 a	13,3 a	14,9 a	2,94 a	3,07 a	3,24 a	3,18 a	3,23 a	3,34 a	3,38 a
4 g L ⁻¹	9,0 a	10,2 a	11,2 a	12,0 a	12,5 a	13,4 a	14,7 a	2,82 a	3,04 a	3,18 a	3,16 a	3,23 a	3,35 a	3,49 a
6 g L ⁻¹	8,9 a	10,2 a	10,9 a	11,4 a	11,5 a	12,0 a	12,4 b	3,03 a	3,20 a	3,35 a	3,28 a	3,33 a	3,34 a	3,31 a

Legenda: medidas realizadas aos 1, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após implantação do sistema de controle de irrigação. Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Área foliar (AF) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e de *Paubrasilia echinata* aos 60 e 120 dias respectivamente, após a implantação do sistema de controle de irrigação em substratos com diferentes doses de polímero hidrorretentor incorporado.

Tratamentos	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>		<i>Paubrasilia echinata</i>	
	AF	IQD	AF	IQD
	cm ²		cm ²	
0 g L ⁻¹	150,1 a	0,46 b	61,2 ab	0,84 a
2 g L ⁻¹	139,2 a	0,81 a	110,9 a	0,89 a
4 g L ⁻¹	142,2 a	0,60 ab	99,1 a	0,88 a
6 g L ⁻¹	151,4 a	0,55 ab	24,0 b	0,87 a

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O Índice de Qualidade Dickson (IQD) das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* variou de 0,46 a 0,81, havendo diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 10), com maior valor para a dose de 2,0 g L⁻¹, o mesmo encontrado por Mewns et al. (2015), analisando o crescimento de mudas de *Handroanthus ochraceus* com doses de 0 a 4 g L⁻¹. Por outro lado, as mudas de *Paubrasilia echinata* não apresentam diferença significativa, com todos os tratamentos apresentando índices acima de 0,80, semelhante ao obtido por Gomes et al. (2019), analisando a mesma espécie.

Deve-se atentar ao fato de a estufa provocar um sombreamento de 50%, em média, das mudas, como atestado previamente ao início do experimento. Assim, os resultados foram semelhantes aos encontrados por Melo et al. (2008) que, analisando diferentes taxas de luminosidade no crescimento inicial das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* obteve valores de IQD de 0,39 e 0,76, sob 80% e 40% de sombreamento, respectivamente.

Não houve diferença significativa para área foliar das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Tabela 10), mas para as de *Paubrasilia echinata*, os tratamentos de 2 e 4 g L⁻¹ mostraram-se superiores ao tratamento de 6 g L⁻¹. Tal parâmetro tem relevância como índice de produtividade, uma vez que se trata da superfície fotossintetizante da planta, de suma importância nas atividades fisiológicas da mesma (SCALON et al., 2006).

As massas de matéria seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSR) para as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* não diferiram significativamente, apresentando em média 2,35 g muda⁻¹ para MSPA, e 1,82 g muda⁻¹ para MSR (Figura 11). Araújo & Sobrinho (2011) observaram resultados semelhantes quando analisaram o crescimento inicial de *Enterolobium contortisiliquum* em substratos composto por solo e casca de arroz carbonizada.

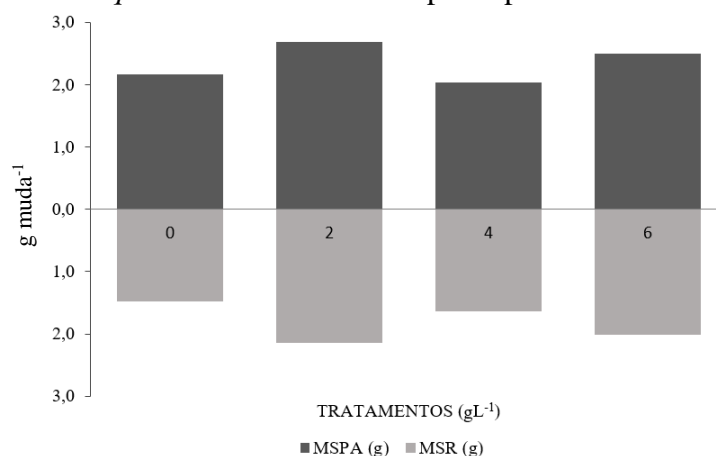


Figura 11. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSR) de *Enterolobium contortisiliquum*, sob crescentes doses de polímeros hidrorretentores.

As mudas de *Paubrasilia echinata* diferiram-se significativamente para MSPA, com destaque para o tratamento de 2,0 g L⁻¹. A MSR não diferiu, ficando em uma média de 0,6 g muda⁻¹ (Figura 12).

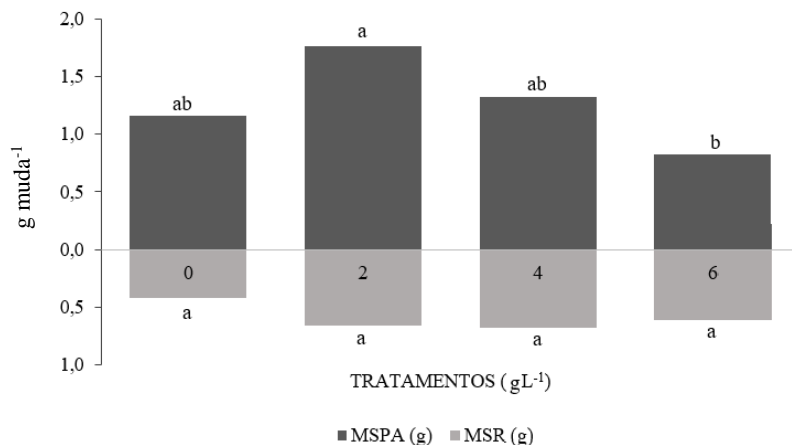


Figura 12. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSR) de *Paubrasilia echinata*, sob crescentes doses de polímeros hidrorretentores.

A MSPA denota a capacidade de defesa da planta às condições desfavoráveis no campo, visto que pode formar um reservatório temporário de assimilados, sendo translocados e alocados para formação de folhas, aumentando a área de captação de radiação solar. Por sua vez, um sistema radicular robusto possui maior eficiência na absorção e transporte de água e nutrientes, pois tende a apresentar maior número de ápices radiculares (AFONSO et al., 2012).

6.5. Necessidade hídrica de espécies florestais

Sob o sistema de irrigação instalado, a quantidade de água aplicada foi reduzida em 51,6% para a espécie *Enterolobium contortisiliquum* no tratamento de 6,0 g L⁻¹ comparado ao tratamento sem adição polímero, requerendo apenas 32 mL por muda durante a produção (Figura 13). Com apenas 2,0 g L⁻¹ tem-se 25,7% de redução, e, quando utilizado a dose de 4,0 g L⁻¹, observou-se uma redução de 42,9%. O mesmo também ocorreu para o *Paubrasilia echinata*, reduzindo em 67% o consumo hídrico, utilizando-se apenas 19,75 ml/muda no tratamento com maior dose de polímero hidrorretentor (Figura 14).

Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Taylor e Halfacre (1986), que observaram que plantas de *Ligustrum lucidum* em tratamentos com adição de polímeros necessitaram de uma baixa frequência de irrigação, expondo sua capacidade de retenção de água, conseqüentemente, menor carência da mesma.

Outro ponto a ser observado é o pequeno consumo de água utilizado na irrigação das mudas quando as mesmas estão em local com irrigação controlada. O sistema utilizado neste estudo é de baixo custo e de fácil manutenção, podendo ser facilmente adaptado a áreas maiores. Estas reduções, estendendo para um viveiro de produção de mudas, pode gerar impacto significativo no consumo de água anual.

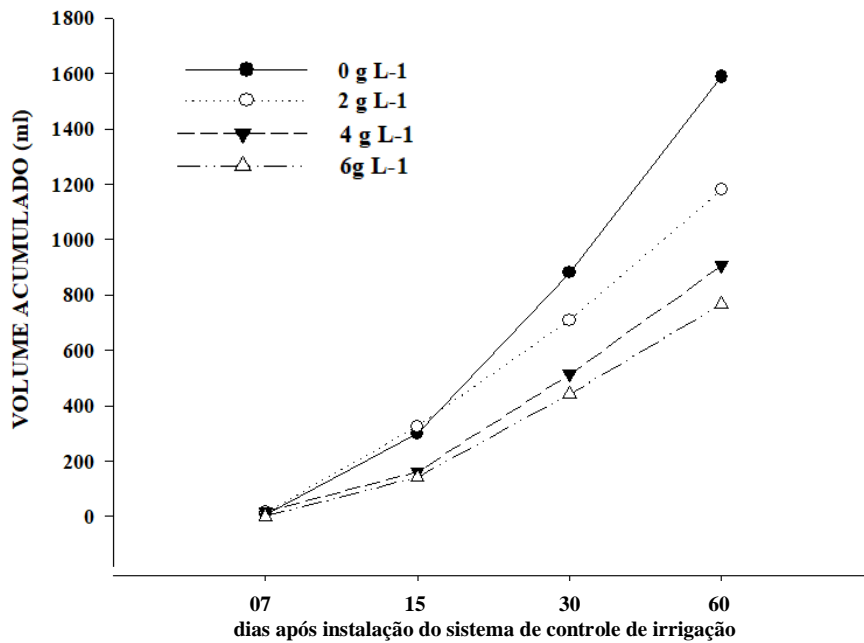


Figura 13. Volume irrigado acumulado nas mudas de *Enterolobium contortisiliquum*, sob crescentes doses de polímeros hidrorretentores.

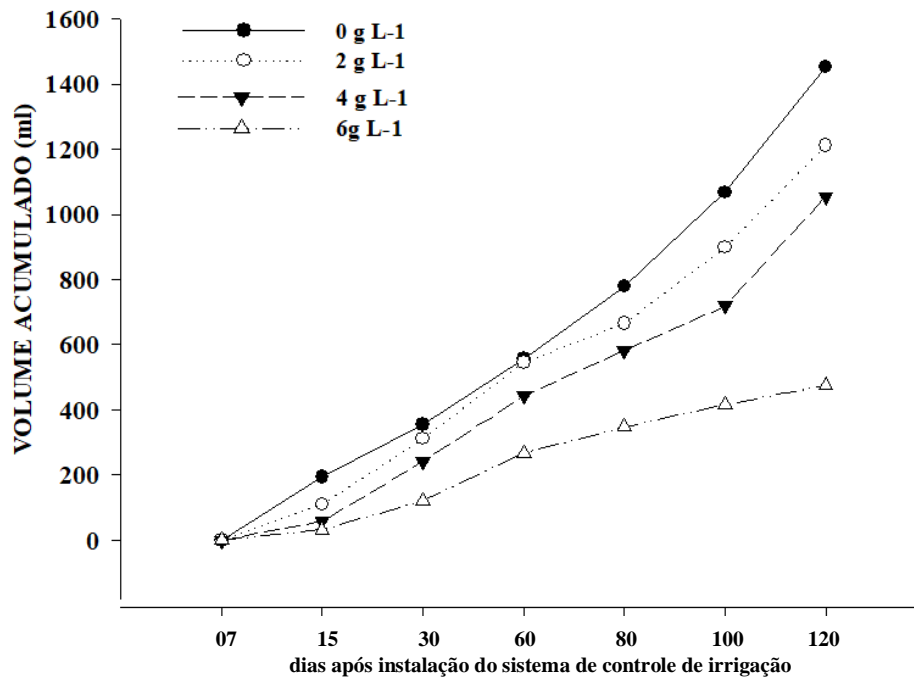


Figura 14. Volume irrigado acumulado nas mudas de *Paubrasilia echinata*, sob crescentes doses de polímeros hidrorretentores.

Quando analisado a produtividade da água, ou seja, a capacidade da planta em converter água em biomassa, nota-se que, com o aumento das doses de polímero, as mudas obtiveram maior êxito na conversão de água em biomassa (Tabela 11). À medida que se aumentava a dose dos polímeros, um menor volume de água era necessário. As mudas com a maior dose de polímero (6 g L⁻¹), obtiveram crescimento no mesmo padrão das demais, porém, conseguiram

otimizar o consumo de água para seu crescimento, nas mudas de *Enterolobium contortisiliquum*.

Tabela 11. Produtividade da água com base na evapotranspiração acumulada, em g ml⁻¹.

Tratamentos	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	<i>Paubrasilia echinata</i>
0 g L ⁻¹	2,57 c	1,22 b
2 g L ⁻¹	4,60 b	2,23 ab
4 g L ⁻¹	4,54 b	2,13 b
6 g L ⁻¹	6,65 a	3,44 a

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Souza et. al (2014), analisando a eficiência do uso da água na produção de *Ficus carica* concluiu que com o aumento do volume de irrigação, há menor eficiência do uso da água. Entretanto, essa perda na eficiência poderia estar ligada às perdas por percolação, fator que não estava presente no atual estudo.

6.6. Avaliação das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* em simulação de campo

As mudas com as maiores doses de polímero no substrato do tubete e nas covas permaneceram por mais tempo túrgidas, ficando cerca de 44 dias sem sintomas de falta de água no tratamento com 6,0 g L⁻¹ de polímero no tubete, e 6,0 g na cova de plantio (Tabela 12). Por outro lado, a ausência de polímero nas duas situações resultou em um aparecimento mais precoce de murcha. A presença do hidrogel, mesmo em doses menores, permitiu que as plantas ficassem sem sintomas de déficit hídrico por 34 dias, 13 dias a mais quando não adicionado. Lopes et al. (2010) também obtiveram esta progressão no número de dias sem sintomas, analisando mudas de *Eucalyptus urograndis*.

Tabela 12. Período para surgimento dos sintomas de déficit hídrico, em dias, em função das diferentes doses de polímero hidrorretentor e momento de incorporação do mesmo.

Variável	Doses nos tubetes (g L ⁻¹)	Doses no plantio (g cova ⁻¹)			
		0	1,5	3,0	6,0
SEM	0	21,5	34,0	35,7	38,7
	2,0	34,5	35,2	34,0	41,0
	4,0	34,2	37,7	40,8	42,7
	6,0	36,0	42,2	43,5	44,5
PSM	0	12,7	9,0	8,5	17,7
	2,0	6,8	17,2	21,0	18,5
	4,0	11,7	17,0	13,3	18,7
	6,0	12,5	11,2	18,0	19,5
SSM	0	7,0	17,7	19,5	10,5
	2,0	17,5	10,5	7,2	5,3
	4,0	15,5	5,7	7,3	4,0
	6,0	13,5	5,5	5,5	6,0

Legenda: SEM – plantas sem sintomas, PSM – plantas com sintomas de murcha, SSM – plantas com sintomas severos de murcha.

Na presença do polímero, as plantas demoraram mais para manifestar sintomas de déficit hídrico, corroborando com resultados encontrados por Saad et al. (2009), realizando estudo semelhante com exemplares de *Eucalyptus urograndis*, em solo também arenoso, compensando o custo adicional de R\$9,00 por hectare. Segundo os mesmos autores, a presença do polímero hidrorretentor fez com que sintomas leves de murcha perdurassem por mais tempo, o mesmo ocorreu no presente estudo: as mudas com maiores doses conseguiram permanecer com sintomas leves de murcha por um período mais prolongado, o que pode favorecer a sobrevivência em campo.

Quando analisado o número de dias que as plantas permaneceram vivas, é notável que o uso do polímero é benéfico, agindo como carreadores para liberação controlada, aumentando disponibilidade de água ao redor do sistema radicular gradativamente, atingindo 70 dias de sobrevivência nas maiores doses combinadas (SHAVIV, 2001). Em plantio, essas taxas diminuirão o custo de mão de obra, insumos com replantio, prorrogação da irrigação em áreas secas, além de possibilitar a espera por chuva próxima (Tabela 13). Mesmo em menores doses, há um aumento na sobrevivência das mudas, em média 59 dias contra 41.

Tabela 13. Número de dias que permaneceram vivas, em função das diferentes doses de polímero hidrorretentor e momento de incorporação do mesmo.

Variável	Doses nos tubetes (g L ⁻¹)	Doses no plantio (g cova ⁻¹)			
		0	1,5	3,0	6,0
Número de dias que permaneceram vivas	0	41	60,75	63,75	67
	2,0	58,75	63	62,25	64,75
	4,0	61,5	60,5	61,25	65,5
	6,0	62	59	67	70

O polímero amplia a taxa de sobrevivência das mudas pois, além das razões supracitadas, possibilita que os sistemas radiculares das mudas cresçam através dos grânulos do polímero hidratado, beneficiando-se de com uma maior superfície de contato (THOMAS, 2008). Vale ressaltar que este ensaio simula condições de campo, com plantios realizados em vasos que impedem a captação de água pelas mudas de outras fontes, como interferência pluviométrica, mostrando a atuação dos polímeros na disponibilização de água no plantio.

Examinando a adição de polímeros apenas no plantio, é possível constatar que a adição de polímero na maior dose supera a eficiência da adição na produção das mudas (taxa de sobrevivência de 67 dias adicionando 6,0 g cova⁻¹, em mudas que não tiveram adição de polímeros no tubete).

Entretanto, quando se examina a presença do polímero apenas no substrato do tubete, observa-se que, mesmo decorrido todo tempo de crescimento das mudas em estufa no viveiro, os polímeros se mostram eficientes, contribuindo no retardo da mortalidade das mudas (62 dias de sobrevivência com adição da maior dose do polímero frente a 41 dias com a ausência do mesmo). Esta pequena diferença na taxa de sobrevivência das mudas quando analisamos a presença do polímero hidrorretentor somente no plantio ou tubete pode ser explicada pela presença de sais das adubações de cobertura no viveiro, que impediram parte das ligações às moléculas de água, reduzindo um pouco sua capacidade de retenção hídrica. Vale ressaltar que nos plantios no vaso não houve adubações de plantio ou de cobertura.

7. CONCLUSÃO

Retomando as hipóteses propostas temos que:

Houve diferença na curva de absorção de água dos três polímeros hidrorretentores devido a suas composições químicas e físicas. Os polímeros de poliacrilamida, Forth e Hydroplan, tiveram absorção entre 349 e 374 g de água por g de produto, enquanto o polímero à base vegetal, UPDT, chegou apenas à 78 g. A hipótese foi corroborada;

Houve redução significativa da absorção de água dos polímeros hidrorretentores em função do aumento da condutividade elétrica da água. Mesmo numa condutividade menor, de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, a redução foi de aproximadamente 50% da capacidade de absorção de água, sendo o sal cloreto de cálcio mais prejudicial do que o de cloreto de potássio. A hipótese foi corroborada;

Não foi observado mudanças nas propriedades físicas do substrato com adição de doses crescentes de polímero hidrorretentor, tanto na amostragem do substrato antes como depois de seu uso. A hipótese não foi corroborada;

Considerando as variáveis morfológicas, de forma geral, as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* tiveram crescimento e qualidade semelhantes entre os tratamentos. Para as mudas de *Paubrasilia echinata* ocorreu para algumas variáveis efeito negativo com doses maiores, porém sem diferença para qualidade. Considera-se que a hipótese foi corroborada;

Em função da capacidade de absorção e de liberação gradual de água do polímero hidrorretentor, houve redução de 51,6% e 42,9% do consumo de água para as espécies *Enterolobium contortisiliquum* e *Paubrasilia echinata*, respectivamente, no tratamento de 6 g L^{-1} comparado ao tratamento sem adição polímero. Houve reduções parciais para as doses intermediárias. A hipótese foi corroborada;

Houve aumento da sobrevivência das mudas produzidas com doses crescentes de polímero hidrorretentor em vaso, mesmo em menores doses, em média de 59 contra 41 dias. A hipótese foi corroborada.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M. et al. Resíduos sólidos urbanos na produção de mudas de *Lafoensia pacari*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 21, n. 2, p. 83-87, fev. 2017a.
- ABREU, A. H. M., LELES, P. S. S., MELO, L. A., OLIVEIRA, R. R., FERREIRA, D. H. A. A. **Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos.** **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, out.-dez., 2017b.
- AFONSO, M. V., MARTINAZZO, E. G., AUMONDE, T. Z. Z., VILLELA, F. A. Composição do substrato, vigor e parâmetros fisiológicos de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (vell.) morong). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1019-1026, 2012.
- AGUIAR, F. F. A., KANASHIRO, S., TAVARES, A. R., NASCIMENTO, T. D. R., ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n.6, p. 729-734, nov/dez, 2011.
- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015.
- ALBUQUERQUE, G. H. S. **Hidrogel de acrilamida e acrilato para estratégias de recuperação de um argissolo em processo de degradação.** 126p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto.** Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 500 p.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual** / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019.
- ANDRADE, R. S. & STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.2, p.111-116, 2011.
- AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. ex. maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.
- ARAGÃO, A. K. O., ALOUFA, M. A. I., COSTA, I. A. O efeito do BAP (6-benzilaminopurina) sobre a indução de brotos em explantes de pau-brasil. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 339-345, jul./set. 2011.
- ARAÚJO, A. P. & SOBRINHO, S. P. Germinação e produção de mudas de tamboril (*enterolobium contortisiliquum* (vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.581-588, 2011.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, v.1, n.1, p. 23-31, 2002.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; GONCALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; DELLACORT, R.; BERTONHA, L. C. Retenção de soluções de sulfatos por hidrogéis de poliacrilamida. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 28, n. 2, p. 287-290, 2006.

BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y.; SONG, J. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil Use and Management*, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 253-260, 2010.

BALENA, S. P. **Efeito de polímeros hidrorretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos**. 1998. 57p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

BARAN, A.; ZALESKI, T.; KULIKOWSKI, E.; WIECZOREK, J. Hydrophysical and biological properties of sandy substrata enriched with hydrogel. *Polish Journal of Environmental Studies*, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 2355-2362, 2015.

BERNARDI, M. R.; SPEROTTO JÚNIOR, M.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. *Cerne*, v.18, n.1, p.67-74, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERTOLIN, A.; AOUADA, F. A.; LONHO, E.; MATTOSO, L. H. C. Investigação do processo de absorção de água de hidrogéis de polissacarídeos: efeito da carga iônica, presença de sais, concentrações de monômero e polissacarídeos. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 311-317, 2012.

BOWMAN, D.C.; EVANS, R.Y.; PAUL, J.L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amend container media. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.115, n.3, p.382-386, 1990.

BUENO, E.; **Pau-brasil**, Axis Mundi Editora: São Paulo, 2002.

BRASIL, República Federativa. **Lei da Mata Atlântica, Lei nº 11.428 de 26/12/2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 26 de Dez. de 2006, p.1.

BRASIL, República Federativa. **Instrução Normativa nº 5, de 08/09/2009**. Dispõe sobre os procedimentos metodológicos para restauração e recuperação das Áreas de Preservação Permanentes e da Reserva Legal instituídas pela Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 09 de Set. de 2009.

BRASIL, República Federativa. **Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25/05/2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de

agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 28 de Mai. de 2012, p.1.

BRASIL, República Federativa. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013.** Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 14 de Jan. de 2013, p.4.

BRITO, C. W. Q.; RODRIGUES, F. H. A.; FERNANDES, M. V. S.; SILVA, L. R. D.; RICARDO, N. M. P. S.; FEITOSA, J. P. A.; MUNIZ, E. C. Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamina-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 40-45, 2013.

CAMPÊLO, A. R., FERNANDES, C. N. V., SILVA, A. R. A., OLIVEIRA, S. R. M., BEZERRA, F. M. L., CÂNDIDO, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista Agrotec** – v. 35, n. 1, p 1–12, 2014.

CARVALHO, D. F, SILVA D. G, SOUZA, A. P, GOMES, D. P, ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-PreScott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v 15, n 8, p 108-116, 2011.

COELHO, J. B. M; BARROS, M. F. C.; CORREA, M. M; WANDERLEY, R. A; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.3, p.253-259, 2008.

COELHO, J. B. M. **Aplicação de doses do polímero hidratassolo sobre a capacidade de retenção de água de solos e desenvolvimento da beterraba.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia. 87p. 2004.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. Methods for Evaluating Irrigation Systems. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook, 82, 1956. 24p.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by Sprinkling. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.

CRUZ-SILVA, C. T. A., ROSA, A. P. M. Tratamentos para superação da dormência em sementes de orelha-de-negro (*Enterolobium contortisiliquum* (vell.) Morong). **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 02, n.02, p. 79-90, 2012.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, n.1. Jan.-Abr. 2009.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos**. 89 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FREITAS, J. S., OLIVEIRA, L. F. C., ABREU, E. C. F., ALMEIDA, A. E. S. Fotodegradação de hidrogel de poliacrilamida na presença de substâncias químicas para o uso na agricultura. **Revista Matéria**, v. 24, n. 3, 2019.

FREITAG, A. S., MORAIS, W. W.C., NISHIJIMA, T. Otimização da irrigação para a formação de mudas de *Pinus elliottii*. **Nucleus**, v.9, n.2, out. 2012.

GADELHA, I. C. N.; CÂMARA, A. C. L.; SILVA, I. P.; BATISTA, J. S.; MELO, M. M.; BLANCO, B. S. Toxic effect of the pericarp of the *enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong fruits on chicks. **International Journal of Applied Research in Veterinary**, v.13, n.135, 2015.

GANDOLFI, S., BELLOTTO, A. & RODRIGUES, R. R. FASE 7: Inserção do conceito de grupos funcionais na restauração, baseada no conhecimento da biologia das espécies. In: R.R. Rodrigues, P.H.S. Brancalion & I. Isernhagen (orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. Instituto BioAtlântica, São Paulo, pp. 62- 77, 2009.

GERVÁSIO, E. S.; FRIZZONE, J. A. Caracterização físico-hídrica de um condicionador de solo e seus efeitos quando misturado a um substrato orgânico. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 94-105, maio-agosto, 2004.

GOMES, E. C. **Avaliação de doses do polímero “hidratassolo” na produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth) sob diferentes frequências de irrigação, em dois solos do cariri cearense**. 2006. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.

GOMES, S. H. M., GONÇALVES, F. B., FERREIRA, R. A., PEREIRA, F. R. M., RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena** 15, 011701, 2019.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

GRECCO F.B., DANTAS A.F.M., RIET-CORREA F., LEITE C.G.D., RAPOSO J.B. Cattle intoxication from *Enterolobium contortisiliquum* pods. **Vet. Human Toxicol.** 44(3):160-162, 2002.

HAVEROENA, M. E.; MACKINNONB, M. D.; FEDORAK, P. M. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various wastewaters. **Water Research**, [s.l.], v. 39, n. 14, p. 3333-3341, 2005.

JÚNIOR, J. C. F. M.; GERVÁSIO, E. S.; ARMINDO, R. A. Sistema de automação para o manejo da subirrigação em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 337-350, abril-junho, 2013.

LAMARCA, E.V.; LEDUC, S.N.M.; BARBEDO, C.J. Viabilidade e vigor de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil – Leguminosae) pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Botânica**, 32:793-803, 2009.

LANDIS, T. C.; HAASE, D. L. Applications of hydrogels in the nursery and during out planting. In: Haase, D. L.; Pinto, J. R.; Riley, L. E.; (Eds.). **National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations 2011** Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2012. p. 53-58.

LÊDO, A.A.M. **Estudo da dormência em semente de Guapuruvú (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) e Orelha de Negro (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) e métodos para sua quebra** [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1977.

LIMA, R. M. F. D.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 1, 2011.

LOPES, J. L. W. et al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras** – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil. Nova Odesa; Editora Plantarum – v. 1, 1992, 352 p.

MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, v. 54, p. 97-104, 2007.

MANTOVANI, E. C.; FACCIOLI, G. G.; LEAL, B. G.; SOARES, A. A.; COSTA, L. C.; FREITAS, P. S. L. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 458-469, 2009.

MATOS, J. M. M., RAMOS, K. M. O., MARTINS, R. C. C., OLIVEIRA, D. V., MARTINS, A. P. Estudo das técnicas de superação de dormência das sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. **Heringeriana**, Brasília, v. 4, n. 1., p. 60-64, Jul./2010.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H.S ; CARVALHO, D. F. ; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agrícola** (USP. Impresso), v. 67, p. 727-730, 2010.

MELO, R. R., CUNHA, M., C. L., JÚNIOR, F. R., STANGERLIN, D. M. Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 3, núm. 2, abril-junio, pp. 138-144, 2008.

MENDONÇA, T. G.; URBANO, V. B.; PERES, J. G.; SOUZA, C. F. Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**. v.2, n.2, p.87-92, 2013.

MEWS, C. L., SOUSA, J. R. L., AZEVEDO, G. T. O. S., SOUZA, A. M. Efeito do Hidrogel e Ureia na Produção de Mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**; 22(1):107-116, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA N° 17**. Diário Oficial da União- Seção 1, n° 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, 2007.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção**. Instrução Normativa MMA n° 06, de 23 de setembro de 2008.

MONTEIRO NETO, J. L., ARAÚJO, W. F., CHAGAS, E. A., SIQUEIRA, R. H. S., OLIVEIRA, G. A., ABANTO-RODRIGUEZ, C. Hydrogels in Brazilian Agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347-360, outubro-dezembro, 2017.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Influência do polímero hidrorretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejo hídricos. **Nativa**, Sinop, v. 02, n. 02, p. 108-113, abr./jun. 2014.

NUNES, C. C. S., SOUZA, D. R. Sobrevivência de quatro espécies lenhosas nativas cultivadas em solos degradados, Cruz das Almas, Bahia. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 23, n. 1-2, p. 11-16, jan./jun., 2011.

OLIVO, A. M.; ISHIKI, H. M. Brasil frente à escassez de água. **Colloquium Humanarum**, Presidente Prudente, v. 11, n. 3, p.41-48, set/dez 2014.

PACHECO, J. P.; FRANCO, E. T. H. Substratos e estacas com e sem folhas no enraizamento de *Luehea divaricata* Mart. **Ciência Rural**, v.38, n.7, out, 2008.

PALUSZEK, J. Effect of addition of Agroaquagel 420 on physical properties of eroded Luvisol. **Environment Protection Natural Resource**, [s.l.], v. 44, p. 107-115, 2010.

PALUSZEK, J. Physical quality of eroded soil amended with gel-forming polymer. **International Agrophysics**, [s.l.], v. 25, p. 375-382, 2011.

PAULINO, M. A. O., FIGUEIREDO, F. P., FERNANDES, R. C., MAIA, J. T. L. S., GUILHERME, D. O., BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009

PERTASSEK, T.; PETERS, A.; DURNER, W. HYPROP-FIT software user's manual, V. 3.0. **UMS GmbH**, München, Germany, 2015.

PETERSON, D. Hydrophilic polymers: effects and uses in the landscape. **Soviet Soil Science**, Moscow, v. 13, n. 4, p. 111-115, 2003.

PRABU, C. S.; THATHEYUS, A. J. Biodegradation of acrylamide employing free and immobilized cells of *Pseudomonas aeruginosa*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 69-73, 2007.

PREVEDELLO, C. L. BELENA, S. P. Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 251-258. 2000.

RAMOS, K. A. **Disponibilidade hídrica e hidrorretentores na produção de mudas clonais de eucalipto**. 2012. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

RAPOSO, J. B., RIET-CORREA, F., GUIM, T. N., SCHUCH, I. D., GRECCO, F. B., FERNANDES, C. G. Intoxicação aguda e abortos em cobaias pelas favas de *Enterolobium contortisiliquum* (Leg. Mimosoideae). **Pesq. Vet. Bras.** v. 28, n. 12, p. 593-596, dezembro 2008.

RESENDE, C. M., CORRÊA, V. F. S., COSTA, A. V. M., CASTRO, B. C. S. Constituintes químicos voláteis das flores e folhas do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*, Lam.). **Quim. Nova**, Vol. 27, No. 3, 414-416, 2004.

ROCHA, Y. T. & BARBEDO, A. S. C. Pau-Brasil (*Caesalpinia Echinata* Lam., Leguminosae) na arborização urbana de São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Recife (PE). **Rev. SBAU**, Piracicaba, v.3, n.2p. 58-77, jun. 2008.

ROCHA, Y. T. Distribuição Geográfica E Época De Florescimento Do Pau-Brasil (*Caesalpinia Echinata* Lam. – Leguminosae). **Revista do Departamento de Geografia**, 20 (2010) 23-36.

RODRIGUES, S. B. S. **Análise do uso da água em unidades de produção de mudas de eucaliptos**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SAAD, J. C. C., LOPES, J. L. W., SANTOS, T. A. Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.404-411, jul./set. 2009.

SABADINI, R. S. **Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes**. Tese. Universidade de São Carlos – USP. 150p. 2015.

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, v. 30, suplemento 1, p. 1173-1186, 2009

SANTONI, N; MATOS, M.; MÜLLER-KARGER, C.; NICOLA, H.; SABINO, M; MÜLLER, A. Caracterización de hidrogeles de quitosano entrecruzados covalentemente congenipina. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. v.9, n.3, 2008.

SARMENTO, M. B.; VILLELA, F. A. Sementes de espécies florestais nativas do sul do Brasil. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.20, n.1,2, p.039 - 044, 2010.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; GOMES, A. A.; SILVA, K. A.; WATHIER, F.; SCALON FILHO, H. Germinação e crescimento inicial de muda de orelha-de-macaco (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.): Efeito de tratamentos químicos e luminosidade. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 529 - 536, 2006.

SCHINDLER, U. A fast method for measuring the water-permeability in partial-saturated soil using piercing cylinder samples. **Plant construction Field**, p. 1-7, 1980.

SILVA, T. G. F., PRIMO, J. T. A., SILVA, S. M. S., MOURA, M. S. B., SANTOS, D. C., SILVA, M. C., ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.184-191, 2014.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001.

SOUSA, W. L., CRUZ, E. S., MEDICI, L. O., SALVADOR, C. A., CARVALHO, D. F. Avaliação de um acionador automático para irrigação em substratos agrícolas com diferentes características de retenção de água. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 3944-3956, out./dez. 2020.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A. A. Evapotranspiração e eficiência do uso da água no primeiro ciclo produtivo da figueira 'roxo de valinhos' submetida a cobertura morta. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 1127-1138, July/Aug. 2014.

TATAGIBA, S. D., SILVA, A. G., FILHO, R. M. P., REIS, E. F., RAMOS, K. A. Disponibilidade hídrica e doses de polímero hidrorretentor na produção de mudas clonais de eucalipto. **Engenharia na Agricultura**, v.27, n.4, p.359-369, 2019.

TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophylic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 5, p. 1159-1161, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5)

THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 3-4, p.1305-1314, 2008.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Acid digestion of sediments, sludges, and soils**. EPA method 3050b. 12p. 1996.

VALE, G. F. R. et al. Avaliação da eficiência de polímeros hidrorretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.1, p.7-13, jan./jun. 2006.

VARENNE, A.; BALSINHAS, A.; CARQUEJA, M. J. Effects of two Na polymers on the hydrophysical and chemical properties of a sandy soil, and on plant growth and water economy. **Revista de Ciências Agrárias**, v.20, n.4, 1997.

VAZIFEDOUST, M., van DAM, J. C., FEDDES, R. A., FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural Water Management**, v. 95, n.2, 2008.

VERVLOET FILHO, R. H. **Utilização de hidrorretentor em substrato semi-saturado na produção de mudas de eucalipto**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

WANG, Y., GREGG, L. L. Hydrophilic polymers – their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, c.115, n.6, p. 943-948, 1990.

WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. Política nacional de recursos hídricos: governança água e cidadania ambiental. **Revista Sequência**, Florianópolis, v. 34, n. 67, Dez. 2013.

YANG M. H., “The thermal degradation of polyacrylamide with adsorbed metal ions as stabilizers”, **Polymer Testing**, v.19, n.1, pp.85-91, 2000.