

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM BIOENGENHARIA DE
SOLOS APLICÁVEL A PROGRAMAS DE RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA**

ROBSON DISARZ

Manaus, Amazonas

Março/2011

ROBSON DISARZ

**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM BIOENGENHARIA
DE SOLOS APLICÁVEL EM PROGRAMAS DE
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA**

Orientador: Dr. GIL VIEIRA - INPA

Co-orientador: Dr. FABRÍCIO JAQUES SUTILI - UFSM

Fonte financiadora: FINEP/PETROBRAS e CAPES

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais

Manaus, Amazonas

Março/2011

D611Disarz, Robson

Desenvolvimento tecnológico em bioengenharia de solos aplicável a programas de restauração ecológica / Robson Disarz. --- Manaus : [s.n.], 2011.

x, 60 f. : il. (algumas color.)

Dissertação (Ciências de Florestas Tropicais)--INPA, Manaus, 2011.

Orientador: Dr. Gil Vieira

Co-orientador: Dr. Fabrício Jaques Sutili

Área de concentração: Manejo Florestal e Silvicultura

1.Propagação vegetativa 2.Propagação por macro-estaquia 3.Áreas degradadas - Recuperação 3.Engenharia natural (Bioengenharia de solos) I.Título

CDD 19ª ed. 634.95

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sinopse:

Foi estudada a capacidade de propagação vegetativa de onze espécies nativas da Amazônia e desenvolvidos três arquétipos de estruturas biodegradáveis para, em conjunto com as macroestacas, serem empregados na contenção de erosão laminar do solo e estabelecimento de linhas de biodiversidade que acelerem a reabilitação ecológica das áreas degradadas.

Palavras-chave: Macroestaquia, recuperação de áreas degradadas, engenharia natural, bioengenharia de solos.

Dedico a uma pessoa que logo logo chega ao mundo,

meu filho Jeferson

Essa é nossa primeira conquista...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a mãe natureza, por me proporcionar essa vivência maravilhosa com a floresta amazônica.

Aos incentivadores de todos os momentos, meus pais Juscelino Ademar Disarz e Melania Hillesheim Disarz pelo carinho, amor e dedicação ao longo de toda minha jornada.

A minha querida Janaina, pelo amor, companheirismo e colaboração.

Meus irmãos Régis e Ruter e sua esposa Priscila pelo apoio e amizade.

Esta pesquisa foi possível devido à colaboração de uma infinidade de pessoas e entidades, e por isso tenho muito a agradecer.

Ao INPA e ao Programa CFT pela oportunidade de elevar meus conhecimentos na bela profissão de Engenheiro Florestal.

Aos orientadores Gil Vieira e Fabrício Sutili por aceitarem a árdua tarefa de ensinar, reger, discutir, inventar e sonhar.

Aos revisores do plano de trabalho e/ou membros da banca de qualificação e defesa de dissertação: Miguel Antão Durlo, Newton Falcão, Claudete Nascimento, João Ferraz, Newton Leal e Wilson Spironello pelas sugestões e considerações.

Ao amigo Paulo de Tarso pela imensa colaboração na realização deste trabalho.

Ao Henrique Nascimento pelas horas de discussão e ensinamentos estatísticos.

Ao Centro de Pesquisas em Produtos Florestais do INPA, Universidade Estadual do Amazonas, Laboratório Temático de solos e plantas do INPA e ao Laboratório de ensaios de Materiais da UFAM na figura de seus pesquisadores e funcionários (Fernando Lemos de Almeida, José Maria dos Santos Gonçalves, Maria da Glória G. de Melo, Raimundo Pereira de Vasconcelos) pela oportunidade de execução dos trabalhos.

A família manauara (Gustavo - canela, Rodrigo - xirú, Rafael – Iost e Pedro) e demais colegas do CFT pela convivência, festas, aventuras e amizade durante a primeira etapa da minha vida em Manaus.

A Valdecira e Ana Clycia pela colaboração e soluções burocráticas.

A LAN Látex da Amazônia pela concessão do látex utilizado neste trabalho.

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I	5
DESCRIBÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOTÉCNICO DE ONZE ESPÉCIES AUTÓCTONES DA AMAZÔNIA	5
1 – INTRODUÇÃO	5
2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3 - MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Localização e descrição da área de estudo	8
3.2. Espécies	9
3.3. Descrição do experimento	9
3.4. Coleta de dados	13
3.5. Análise estatística	14
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Taxa de sobrevivência	16
4.2. Influência do diâmetro das estacas sobre as variáveis de crescimento	18
4.3. Variáveis de crescimento	20
4.4. Arquitetura do sistema radicular	23
5– CONCLUSÕES	25
CAPÍTULO II	27
CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE RETENTORES DE EROÇÃO LAMINAR	27
1 - INTRODUÇÃO	27
2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3 - MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Confecção e preparo das partículas	28
3.2. Aplicação do adesivo	29
3.3. Moldagem por compressão	29
3.4. Testes piloto	32
3.5. Ensaio físico-mecânico	33
3.6. Análise estatística	35
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Comparação entre os adesivos PVA e látex centrifugado	35

4.2. Comparação entre as fibras e os formatos utilizados	38
5 – CONCLUSÕES	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

Lista de figuras

Figura 1: Precipitação e temperatura observadas durante a condução do experimento.....	8
Figura 2: Vista geral do experimento.....	10
Figura 3: Box-plot dos diâmetros da base da estaca (mm) para as onze espécies estudadas. Linhas dentro das barras referem-se às medianas dos diâmetros.....	12
Figura 4: Esquema de plantio das estacas nos recipientes	12
Figura 5: Desenvolvimento de calos radiculares em estacas de <i>S. Monbin</i> em 90 dias (a) e 120 dias de plantio (b)	16
Figura 6: Taxa de sobrevivência das estacas em número e porcentagem para os três períodos de avaliação.....	17
Figura 7: Taxa de sobrevivência das estacas de <i>P. aduncum</i> relativo às estacas com nó e sem nó acima do solo em número e porcentagem para os três períodos de avaliação	17
Figura 8: Crescimento vegetativo das espécies nos respectivos períodos de avaliação.....	22
Figura 9: Estacas de <i>A. castaneifolia</i> evidenciando o desenvolvimento predominante das raízes no terço inferior das estacas.....	23
Figura 10: Estacas de <i>S. humboldtiana</i> evidenciando o desenvolvimento de raízes em toda a extensão das estacas sob o solo. Escala 2x2 cm.....	24
Figura 11: Emissão de raízes pelos brotos de <i>S. humboldtiana</i> que iniciaram seu desenvolvimento abaixo do solo. Escala 1x1 cm	24
Figura 12: Estacas de <i>P. aduncum</i> evidenciando o desenvolvimento de raízes nas nodificações. Escala 2x2 cm	25
Figura 13: Esquema representando o formato das estruturas: trapezoidal (a), retangular (b) e grade (c)	31
Figura 14: Exemplo de estrutura confeccionada com PVA que não foi possível desmoldar.....	32
Figura 15: Ensaio de resistência a flexão no espaço vazio central dos diferentes tipos de estruturas. Destaque para os apoios de madeira	34
Figura 16: Absorção de água em estruturas confeccionadas com látex e PVA em 2 e 24 h de imersão.....	36

Figura 17: Inchamento de estruturas confeccionadas com látex e PVA em 2 e 24 h de imersão em água.....	36
Figura 18: Deformação de estrutura fabricada com látex (a) e PVA (b) após 24h de imersão em água.....	37
Figura 19: Força máxima e deformação específica para o rompimento dos contentores fabricados com látex e PVA.....	37
Figura 20: Absorção de água para os diferentes tratamentos para 2 e 24 horas de imersão.....	39
Figura 21: Inchamento para os diferentes tratamentos para 2 e 24 horas de imersão em água.....	40
Figura 22: Força máxima e deformação específica para o rompimento dos contentores de erosão.....	41

Lista de equações

Equação 1: Taxa de sobrevivência por espécie	13
Equação 2: Número médio de brotos por estaca (<i>Nmbrotos</i>)	13
Equação 3: Média da soma do comprimento dos brotos por estaca (<i>MCbrotos</i>)	13
Equação 4: Média do diâmetro dos brotos (<i>Mdbrotos</i>)	14
Equação 5: Média da massa seca de brotos por estaca (<i>Mmsbrotos</i>).....	14
Equação 6: Média do comprimento da maior raiz por estaca (<i>Mcmraiz</i>)	14
Equação 7: Média da massa seca de raízes por estaca (<i>Mmsraízes</i>).....	14
Equação 8: Índice de inchamento	34
Equação 9: Índice de absorção de água	34

RESUMO

A restauração de áreas degradadas consiste em criar condições para reparação de parte das funções ecológicas de um ecossistema que perdeu sua resiliência. Em sítios onde foi perdida a capacidade de regeneração natural, a intervenção humana é fundamental para o estabelecimento de condições ambientais que favoreçam o processo natural de recuperação. Visando contribuir com a inovação de métodos de recuperação ambiental de clareiras abertas para a prospecção de hidrocarbonetos no bioma amazônico, o objetivo deste estudo foi verificar o uso de macroestacas de espécies pioneiras associadas com estruturas pré-fabricadas e biodegradáveis para contenção de erosão laminar. O estudo de propagação vegetativa foi desenvolvido para onze espécies nativas, em viveiro ao ar livre sob sistema de irrigação por aspersão, localizado em Manaus – AM, Brasil (03°05'32.2" S e 60°01'08.1" W). Foram testadas quanto ao estabelecimento inicial 90 estacas de cada espécie, plantadas em recipientes de polietileno com substrato de areia. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Após 60, 90 e 120 dias da instalação do experimento, 30 estacas de cada espécie foram escavadas com auxílio de um jato de água a baixa pressão, quando foi quantificada a taxa de sobrevivência. Em cada estaca foi verificado número, diâmetro da base e comprimento de brotos, comprimento da maior raiz e massa seca de brotos e raízes. Apenas as espécies *Alchornea castaneifolia*, *Salix humboldtiana* e *Piper aduncum* dentre as testadas, apresentam desenvolvimento vegetativo, com taxa de sobrevivência entre 70 e 100%. Análises de variância multivariada (MANOVA) detectaram diferença entre as três espécies. Ainda que estas espécies apresentem sistema radicular fasciculado, *S. humboldtiana* desenvolve raízes em toda a extensão das estacas, em *Alchornea* as raízes estão localizadas na base da estaca e em *P. aduncum* concentram-se nos nós abaixo do solo. Análises de regressão linear simples mostraram que o diâmetro das estacas dentro da amplitude de 1 a 3,5 cm influencia apenas o número de brotos aos 120 dias para *P. aduncum*, não interferindo nas demais variáveis de crescimento da parte aérea e de raízes. Os retentores de erosão laminar foram fabricados com três diferentes tipos de partículas (fibra de coco, palha de buriti e madeira picada), dois adesivos (látex centrifugado e poliacetato de vinila - PVA), em três formatos diferentes (trapezoidal, retangular e grade), resultando em 11 tratamentos. Os dois tratamentos que empregaram PVA como adesivo não conferiram resistência suficiente para as estruturas, que se deformaram pelo aumento de volume após 24 horas de imersão em água. Os nove tratamentos que utilizaram látex foram similares quanto à absorção de água, porém se diferenciaram em inchamento e força máxima para o rompimento. Apenas as estruturas confeccionadas com fibra de coco ou madeira picada e látex como agente cimentante foram as que se mostraram viáveis de serem produzidas em larga escala. Propõe-se que sejam realizados ensaios em campo com estas estruturas e estacas vegetais, para verificar a eficiência quando submetidos a todas as condições ambientais.

Palavras-chave: macroestaquia; propagação vegetativa; recuperação de áreas degradadas; *Salix humboldtiana*; *Alchornea castaneifolia*; *Piper aduncum*; engenharia natural; fibras vegetais; retentores de erosão laminar.

ABSTRACT

The restoration of degraded areas consists in creating conditions to repair part of the ecological functions of an ecosystem that has lost its resilience. In sites where the natural regeneration capacity has been lost, human intervention is fundamental for the establishment of environmental conditions that favor the natural recovery process. In order to contribute with innovation of environmental restoration methods of opened gaps to hydrocarbons prospection in the amazon biome, the objective of this study was to provide the use of macro cuttings of pioneer species associated with prefabricated and biodegradable structures for contention of surface erosion. The study of vegetative propagation was developed for eleven native species, in forest nursery outdoors under sprinkler irrigation system located in Manaus, Amazonas, Brazil (03°05'32.2" S e 60°01'08.1" W). Ninety cuttings for each species were tested by planting in polyethylene containers with sand substrate, as initial establishment. Experimental was completely randomized design. Thirty cuttings for each species were excavated after 60, 90 and 120 days of the experimental installation. It was done using a water jet in low pressure and the goal was to quantify the survival rate. On each cutting was verified the number and base diameter of shoots, the length of the longest root and shoots and dry mass of shoots and roots. Only *Alchornea castaneifolia*, *Salix humboldtiana* and *Piper aduncum* species among all tested presented vegetative development, with a survival rate between 70 and 100%. Multivariate analysis of variance (MANOVA) detected difference among three species. Although these species presented fasciculate root system, *S. Humboldtiana* developed roots in all cutting extension, in *Alchornea* the roots are localized in the base of the cutting and in *P. aduncum* they are concentrated in nodes below the soil. Simple linear regression analysis demonstrated that cuttings amplitude range from 1 to 3,5 cm has influence only in the number of shoots at 120 days to *P. aduncum*, not interfering in other variables of growth of shoots and roots. The retainers of surface erosion were produced with three different types of particles (coconut fiber, buriti straw and chopped wood), two adhesives (centrifuged latex and polyvinylacetate - PVA) and in three different shapes (trapezium, rectangular and grid), resulting in 11 treatments. The two treatments that used polyvinylacetate as an adhesive did not confer enough resistance to the structures and those were deformed by the increase of the volume after 24 hours of water immersion. The nine treatments that used latex were similar in response to water absorption. However they were different in swelling and maximum force to break. Only the structures made by using coconut fiber or chopped wood and latex as adhesives demonstrated to be viable to a large scale production. We suggest that assays in field with these structures and plant cuttings are be made to verify their efficiency when submitted to all environmental conditions.

Keywords: macro-cuttings; vegetative propagation; reclamation of degraded areas; *Salix humboldtiana*; *Alchornea castaneifolia*; *Piper aduncum*; natural engineers; vegetable fiber; retainers of surface erosion.

INTRODUÇÃO GERAL

A restauração de áreas degradadas consiste em criar condições para reparação das funções ecológicas de um ecossistema que perdeu sua resiliência, ou seja, a capacidade de regeneração natural. Essas condições são estabelecidas a partir da facilitação dos processos de sucessão, aliada à aceleração da ciclagem de nutrientes, que promove o acúmulo de biomassa e acréscimo na quantidade de indivíduos e diversidade de espécies. Inicialmente a principal atividade de contenção do avanço da degradação ambiental deve ser o manejo do solo, com o desígnio de preparar o sítio para o restabelecimento da vegetação e retorno da biota.

O termo erosão provém do latim (*erodere*) que significa corroer. A erosão do solo é o processo de desagregação e transporte de partículas, deslizamentos de superfície e outros movimentos de massa provocados por um agente abiótico, principalmente a água e sequencial deposição deste material. A erosão hídrica ocorre em três formas sucessivas: erosão laminar; ravinamentos ou sulcos e voçorocas. A erosão laminar caracteriza-se pela desagregação, seguida do deslocamento uniforme e suave, em toda a extensão da área sujeita ao agente erosivo. O ravinamento é a abertura de um canal de escoamento com traçado definido. A voçoroca, estágio mais avançado de erosão, corresponde ao extremo processo de ravinamento, quando o sulco atinge o lençol freático (Magalhães e Furtado, 2001).

Diferentes métodos são utilizados para reduzir a erosão do solo, a maioria implica na manutenção e conservação de uma cobertura de proteção vegetal (Pimentel *et al.*, 1995). O controle dos processos erosivos favorece a estabilidade do solo, que é fundamental para o desenvolvimento e sucessão vegetal, tornando-se mais eficaz quando precocemente efetuado. No âmbito das intervenções para controle das erosões do tipo laminar, diversos trabalhos utilizam geossintéticos, mantas e geogrelhas, fabricadas em materiais incapazes de se degradar em ambiente natural. Ou ainda, empregam técnicas como a hidrossemeadura para o plantio de gramíneas exóticas perenes, o que apesar de proporcionar rápida cobertura do solo, dificulta o estabelecimento de outras espécies vegetais, devido à alta concorrência por luz e nutrientes (Molinaro e Vieira, 2007). Para a restauração de ambientes naturais, onde o

objetivo da intervenção antrópica é devolver ao local as características anteriores à degradação, é necessária a aplicação de materiais biodegradáveis e técnicas que priorizem o emprego de espécies vegetais autóctones para a estabilização do solo e atração da biota.

Atualmente, as áreas degradadas na Amazônia brasileira possuem diversos fatores provocadores ou catalisadores dos processos de degradação ambiental. A atividade de prospecção de hidrocarbonetos é uma atividade estabelecida, com alta geração de renda, empregos e desenvolvimento regional. No entanto, nesta atividade não há como confirmar a presença segura de petróleo e gás, que permita dispensar os trabalhos de perfuração e abertura de clareiras. Desta maneira, a alteração da área é inerente ao processo, o que contribui para ampliação das áreas degradadas neste bioma (Petrobras, 2009).

Na província petrolífera de Urucu, além das clareiras, existem áreas de empréstimo e deposição de material oriundo de obras como a construção de estradas. Esses ambientes medem até sete hectares, individualmente e totalizavam 215 ha de áreas degradadas até o fim de 2008 (Nascimento, 2009). Nessas áreas toda a vegetação é removida, incluindo o banco de plântulas e de sementes, devido à eliminação e/ou inversão dos horizontes superficiais do solo. Esse processo resulta em exposição à intensa radiação solar e impacto das gotas de chuva, ocasionando a compactação do solo, diminuição das taxas de infiltração da água e da concentração de nutrientes, o que favorece a ação erosiva (Tanaka e Vieira, 2006). A água atua na degradação do solo de duas maneiras: quimicamente como solvente na lixiviação dos nutrientes e mecanicamente movimentando partículas (Durló e Sutili, 2005).

As clareiras de Urucu, apresentam taxas de infiltração de água de cerca de 5 mm.h^{-1} , enquanto que na floresta circundante a taxa de infiltração superficial é da ordem de 100 mm.h^{-1} (Rocha *et al.*, 2004). As medidas do rebaixamento da superfície pela perda de solo devido ao processo erosivo, em áreas degradadas de Urucu, atingem valores médios da ordem de $7,5 \text{ cm.ano}^{-1}$ (Arruda, 2005). Isso influencia negativamente a taxa de sobrevivência dos plantios de mudas, devido à indisponibilidade de água para as raízes, resultante da alta compactação e baixa infiltração, e ainda à exposição destas raízes em decorrência do acentuado processo erosivo, que chega a retirar mudas do solo.

Em Urucu, as ações de recuperação são exclusivamente baseadas no reflorestamento com mudas de espécies arbóreas que apresentam baixos índices de estabelecimento (Nascimento, 2009). Estes programas de restauração são baseados na produção e plantio de mudas e negligenciam o manejo do solo. Isso resulta em iniciativas mal sucedidas, sob alto custo financeiro (cerca de R\$ 41.000.ha⁻¹), devido principalmente à atividade de coleta de sementes (Bento, 2010). Diante do exposto é notório que o desenvolvimento de novos métodos e técnicas é necessário para restauração ambiental em Urucu.

A bioengenharia de solos também conhecida como engenharia biotécnica ou engenharia natural é um processo eficiente para facilitação da sucessão natural em áreas degradadas. Esta ciência vale-se de técnicas biológicas, nas quais plantas ou parte destas são usadas como material vivo para construção de estruturas que aliem a estabilização do solo à reintrodução da biota. Sozinhas, ou combinadas com materiais inertes, as plantas promovem resultados quanto estabilidade de encostas naturais ou artificiais de terrenos e margens de cursos de água (Durlo e Sutili, 2005; Sutili, 2007). Os efeitos ecológicos do emprego destas técnicas oferecem vantagens em comparação aos métodos convencionais, tornando as áreas recuperadas autossuficientes a partir da facilitação de processos naturais que resultam em um ecossistema equilibrado (Schiechtl, 2002).

O recorrente sucesso dessas intervenções na recuperação de áreas degradadas, as tem popularizado em diversos países como Áustria, Alemanha, França, Suíça, Itália, Estados Unidos e China, principalmente na contenção de encostas e taludes (Schiechtl, 2002; Rey *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2006; Evette *et al.*, 2009; Reddy, 2010). Atualmente no Brasil, a bioengenharia tem sido empregada na região sul (Altreiter e Plunger, 2004; Sutili e Durlo, 2004; Durlo e Sutili, 2005; Sutili, 2007). Apesar do avanço na utilização destas técnicas, os estudos indicam que ainda é escasso o conhecimento sobre as características das plantas potencialmente utilizáveis, o que dificulta a implantação das obras de bioengenharia (Durlo e Sutili, 2005).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe um método de restauração de áreas degradadas empregando técnicas de bioengenharia, a partir do consórcio de estruturas pré-fabricadas biodegradáveis com espécies pioneiras,

nativas da Amazônia e com potencial de propagação vegetativa. Este estudo aborda alternativas para facilitação dos processos de sucessão e para contenção da erosão do solo, organizado em dois capítulos: 1- Descrição e avaliação do potencial biotécnico de onze espécies autóctones da Amazônia e 2- Confeção e caracterização físico-mecânica de retentores de erosão laminar.

CAPÍTULO I

DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOTÉCNICO DE ONZE ESPÉCIES AUTÓCTONES DA AMAZÔNIA

1 – INTRODUÇÃO

A engenharia natural ou bioengenharia de solos utiliza práticas simples de engenharia tradicional integradas ao uso de vegetação viva e outros materiais para o controle de erosão, estabilização de taludes, proteção dos habitats e enriquecimento biológico de ecossistemas degradados (Gray e Sotir, 1996). Inicialmente, a erosão é contida a partir do emprego de material inerte e técnicas tradicionais de engenharia. Em médio e longo prazo, a vegetação resultante dos sistemas implantados pelas obras de bioengenharia torna-se o principal fator de reestruturação e estabilização do solo (Reddy, 2010).

O sucesso das intervenções de obras de bioengenharia depende diretamente do conhecimento e adequado aproveitamento das características técnicas das plantas, destacando-se o potencial de reprodução vegetativa, a capacidade de suportar condições ambientais extremas e o enraizamento denso e robusto (Suttili *et al.*, 2004; Kuzovkina e Volk, 2009). A introdução de espécies com estas características além de atuar na estabilidade do solo, promove a melhoria do microclima reduzindo a temperatura e elevando a umidade, o que favorece a recolonização da biota, aumentando a complexidade ecológica local (Kuzovkina e Volk, 2009).

Uma variedade de métodos pode ser aplicada para propagação vegetativa de espécies arbóreas tropicais, incluindo a enxertia, estaquia, alporquia e técnicas *in vitro* como proliferação de meristemas, organogênese e embriogênese (Leakey *et al.*, 1994). Na engenharia natural o método frequentemente utilizado é a propagação vegetativa de estacas caulinares (macroestacas). Este método consiste em destacar da planta-matriz um ramo e colocá-lo em um meio adequado para formação do sistema radicular e desenvolvimento da parte aérea (Paiva e Gomes, 1993). É uma alternativa vantajosa para colonização vegetal em áreas degradadas devido a uma série de características, tais como: ancoramento físico, imediata cobertura do solo, redução do tempo para a maturidade reprodutiva dos indivíduos, atração da

fauna, fornecimento local de propágulos, facilitação dos processos de sucessão, diminuição nos custos em relação à produção de mudas por sementes, rápido desenvolvimento do sistema radicular e de brotações que proporcionam cobertura e agregação do solo, além de permitir a seleção de indivíduos que apresentem características fenotípicas que indiquem melhor carga genética.

O fator climático apresenta forte influência nas taxas de sobrevivência em testes de germinação e/ou estabelecimento e sobrevivência de plantas. Para a propagação vegetativa, a melhor época para coleta de material é o fim da estação de dormência (Reddy, 2010). Após a alternância do fator de controle (ou restrição) ambiental para uma condição mais favorável, o vegetal tende a retomar as atividades metabólicas, produzindo novos tecidos (Taiz e Zeiger, 2004), no caso das estacas, brotos e raízes.

Em regiões onde há diferenciação de temperatura bem definida ao longo do ano, recomenda-se a coleta das estacas no fim da estação fria (Pezeshki *et al.*, 2005), pois em seguida, com o aumento da temperatura durante a mudança de estação, as estacas intensificam a atividade fisiológica, emitindo brotos e raízes em maior quantidade, o que eleva as taxas de sobrevivência. Na zona equatorial e tropical, onde a variação de temperatura é baixa, o fator de controle ambiental que pode influenciar é a diferença de pluviosidade. Assim, após o período de seca é quando o metabolismo vegetal é intensificado com a época chuvosa.

Entretanto, para implantação de estacas diretamente no campo, principalmente na região amazônica onde os índices pluviométricos são altos, é importante que seja cuidadosamente planejada a locação do material vegetal, pois há uma probabilidade alta destas estacas serem deslocadas pela força das águas antes do desenvolvimento de brotos e principalmente das raízes. Neste trabalho, as épocas de coleta não puderam ser planejadas por estação climática. Assim, durante o período experimental, as plantas foram submetidas à irrigação controlada para isolar o fator de restrição hídrica, visando à avaliação apenas do potencial fisiológico das espécies quanto à reprodução vegetativa.

As estacas lenhosas dependem da hidrólise e disponibilização de carboidratos armazenados nos tecidos das estacas para promover o

enraizamento (Leakey 2004). Estacas de maior diâmetro podem conter maior teor de reserva armazenada, em comparação com estacas de menor diâmetro (Aminah *et al.*, 1995). Os processos de enraizamento giram em torno da totipotência inerente às células vegetais e podem ser divididos em três etapas: (a) indução - compreende o período em que ocorrem as primeiras modificações moleculares e bioquímicas precedendo mudanças morfológicas, (b) iniciação - as divisões celulares iniciam, formam-se os meristemas de raiz e são formados os primórdios radiculares e (c) expressão - momento em que acontece o crescimento e a emergência das raízes na estaca (Kevers *et al.*, 1997). As exigências para a iniciação de raízes e crescimento radicular são diferentes: a primeira é influenciada pela genética e pelo estado fisiológico da planta, enquanto a última é mais sensível aos fatores do ambiente (Leakey, 1985).

O conhecimento sobre estaquia de espécies florestais da Amazônia é escasso e se concentra exclusivamente em espécies de interesse comercial (Vastano Jr e Barbosa, 1983; Paes *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2010). Este estudo teve como objetivo investigar a capacidade de propagação vegetativa de macroestacas caulinares de onze espécies e caracterizá-las biotecnicamente, possibilitando a aplicação destas na bioengenharia de solos para recuperação de áreas degradadas na Amazônia.

2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1. Testar a capacidade reprodutiva por macroestaquia de onze espécies da Amazônia;
- 2.2. Verificar a influência do diâmetro das estacas coletadas na taxa de sobrevivência e nas variáveis de crescimento das espécies estudadas;
- 2.3. Comparar as características biotécnicas de rebrota e enraizamento das espécies com potencial de reprodução vegetativa por macroestaquia.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em viveiro florestal localizado em Manaus, AM - Brasil, cujas coordenadas geográficas são 03°05'32.2" S e 60°01'08.1" W (DATUM WGS 84) e altitude aproximada de 41m. O clima é do tipo Af segundo a classificação de Koppen, caracterizado como equatorial úmido (Kottek *et al.*, 2006). As variáveis ambientais de precipitação e temperatura, durante todo o período do experimento (abril de 2010 a janeiro de 2011) foram mensuradas pela estação meteorológica automática da Universidade Estadual do Amazonas - UEA, localizada a 300 m do local do experimento. Há um período de maior precipitação mensal entre os meses de outubro e junho e um período de precipitação inferior entre os meses de julho a setembro. A temperatura média oscila pouco durante o ano e as maiores temperaturas coincidem com os meses de baixa precipitação (Figura 1).

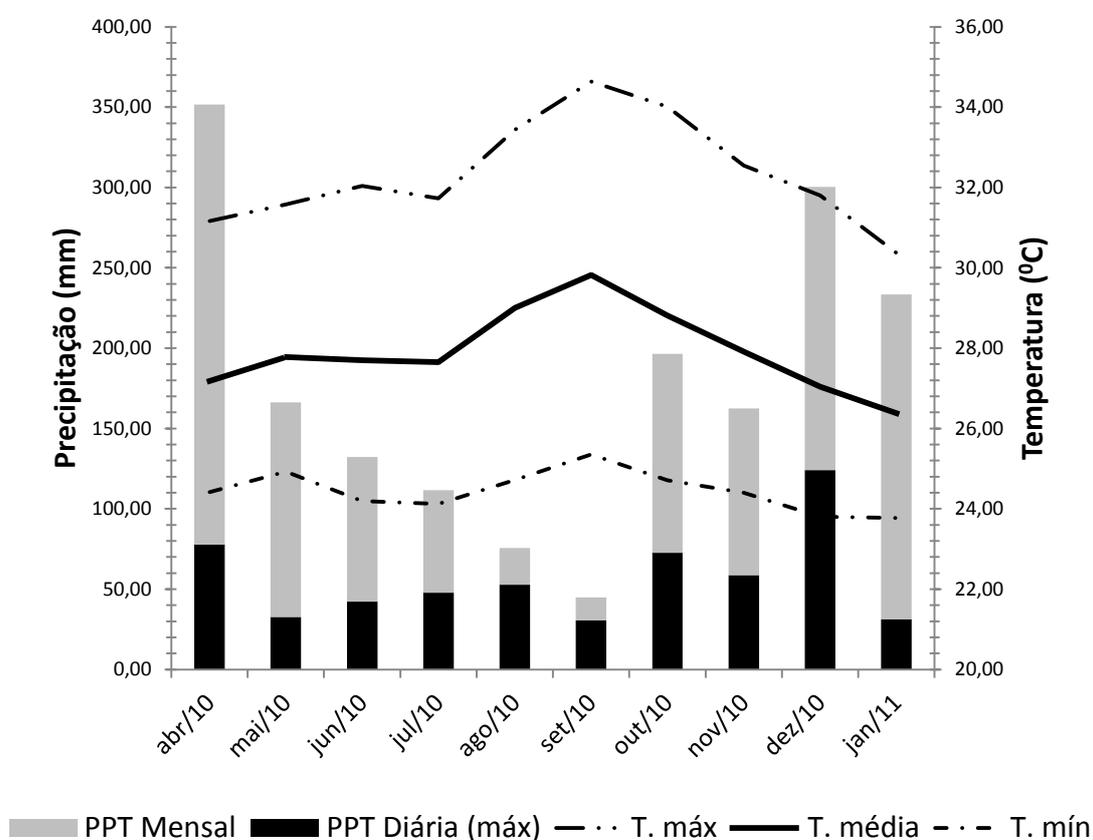


Figura 1: Precipitação e temperatura observadas durante a condução do experimento

3.2. Espécies

As espécies utilizadas nesse estudo são autóctones da Amazônia, pertencentes a oito famílias botânicas (Tabela 1). Para a escolha dessas espécies obedeceu-se alguns critérios: i) rusticidade e capacidade de colonização de ambientes alterados; ii) facilidade na obtenção de material para propagação vegetativa (macroestacas) e iii) indícios da família botânica quanto à capacidade de reprodução assexuada. Para comprovação das espécies foi coletado material botânico e comparado com material “voucher” depositado no herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Tabela 1: Espécies selecionadas para avaliação do potencial de reprodução por macroestaquia

ESPÉCIE	FAMÍLIA
<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	Melastomataceae
<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.	Clusiaceae
<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers.	Clusiaceae
<i>Clusia insignis</i> Mart.	Clusiaceae
<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	Rubiaceae
<i>Salix humboldtiana</i> var. <i>martiana</i> (Leyb.)	Salicaceae
<i>Piper aduncum</i> L.	Piperaceae
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Celastraceae
<i>Alchornea castaneifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) A. Juss.	Euphorbiaceae
<i>Croton lanjouwensis</i> Jabl.	Euphorbiaceae
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae

3.3. Descrição do experimento

Com duração de 120 dias para cada espécie, o experimento foi implantado em recipientes de polietileno (14,5 dcm³), dispostos ao ar livre (Figura 2). O sistema de irrigação, constituído por 12 aspersores controlados automaticamente funcionou diariamente, durante todo o período do experimento, por 10 minutos, nos horários de 07:30, 10:30, 15:30 e 18:30 totalizando 40 minutos de irrigação diária.



Figura 2: Vista geral do experimento

Experimentos que visem avaliar o desenvolvimento vegetativo de plantas para a bioengenharia devem preferencialmente utilizar como substrato solos pobres em nutrientes para estimular o desenvolvimento de massa radicular (Schiechtl, 1973). Em solos pobres a planta aloca recursos na produção de raízes, forrageando por nutrientes. Estes cuidados servem para evidenciar o potencial vegetativo da estaca e excluir a influência da fertilidade do solo, facilitando assim a comparação entre as espécies.

O substrato utilizado nesse trabalho foi areia de textura grossa (2 a 0,2 mm). Uma análise química foi realizada em cinco amostras compostas, formada por cinco sub-amostras retiradas do montante do substrato antes do preenchimento dos recipientes. Essas amostras foram enviadas para análise química no Laboratório Temático de Solos e Plantas LTSP/INPA e ao laboratório de solos da Embrapa para avaliar a relação Carbono/Nitrogênio. As análises evidenciaram um substrato de fertilidade muito baixa, com N (0,24 g/Kg), P (0,11 mg/Kg), K^+ (1mg/Kg), Na e Zn (0mg/Kg), Ca^{++} (0,1mg/Kg), Mg^{++} (0,3mg/Kg), Fe (2mg/Kg), Mn (0,2 mg/Kg), M.O. (1,09 g/Kg), C (0,63 g/Kg), Al (0,1 cmolc/Kg) e ph (5,0).

As estacas foram coletadas seguindo recomendações de Reddy (2010), de maneira que a casca permanecesse intacta e as gemas orientadas para cima. A coleta foi realizada em datas e locais diferenciados para as espécies (Tabela 2), e as estacas foram oriundas de plantas matrizes adultas e em boas condições fitossanitárias.

Tabela 2: Datas e local de coleta das estacas para as diferentes espécies

Espécie	Data da coleta	Local	Coordenadas (DATUM WGS 84)
<i>V. guianensis</i>	01/04/2010	EEST*	02°35'47.50"S 60°02'34.90"W
<i>G. glabra</i>	01/04/2010	EEST	02°35'50.00"S 60°02'34.60"W
<i>B. grossularioides</i>	01/04/2010	EEST	02°35'52.70"S 60°02'35.60"W
<i>V. cayennensis</i>	01/04/2010	EEST	02°35'46.10"S 60°02'35.60"W
<i>W. coccinea</i>	28/04/2010	BR-174	02°57'80.00"S 60°02'00.54"W
<i>A. castaneifolia</i>	28/04/2010	Iranduba-AM	03°17'53.61"S 60°12'16.60"W
<i>C. lanjouwensis</i>	11/08/2010	EEST	02°35'46.10"S 60°02'35.60"W
<i>S. mombin</i>	11/08/2010	EEST	02°35'59.94"S 60°02'18.51"W
<i>C. insignis</i>	31/08/2010	ZF-2**	02°36'30.76"S 60°08'31.86"W
<i>P. aduncum</i>	31/08/2010	BR-174	02°54'19.74"S 60°02'12.51"W
<i>S. humboldtiana</i>	17/09/2010	Iranduba-AM	03°18'45.00"S 60°11'33.00"W

*Estação Experimental de Silvicultura Tropical - INPA

**Estação Experimental ZF-2-INPA

Foram coletadas noventa estacas para cada espécie, com diâmetro da base variando de 1 a 3,5 cm (Figura 3) e comprimento fixo de 25 cm. Foram realizados cortes transversais na parte superior e em bisel na parte inferior para aumentar a absorção de água devido à maior superfície de contato com o substrato. As estacas foram retiradas da metade inferior da copa das matrizes e imediatamente acondicionadas em sacos plásticos contendo água para reduzir o efeito de desidratação. Não foram realizados tratamentos fitossanitários ou com reguladores de crescimento vegetal.

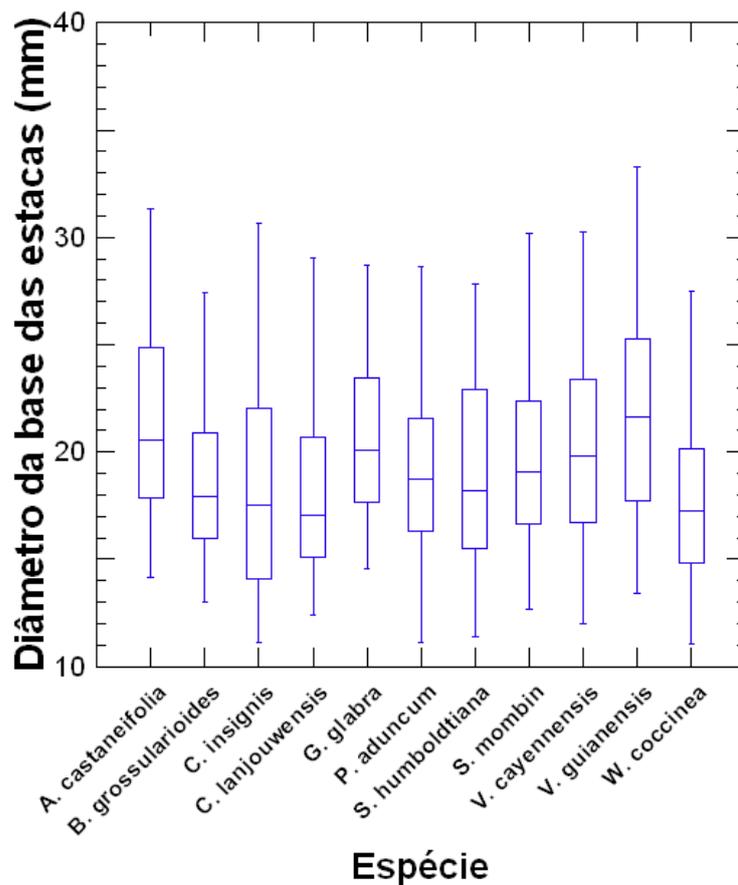


Figura 3: Box-plot dos diâmetros da base da estaca (mm) para as onze espécies estudadas. Linhas dentro das barras referem-se às medianas dos diâmetros

As estacas foram plantadas no mesmo dia de coleta e dispostas aleatoriamente nos recipientes, enterradas até 80% (20 cm) do comprimento total, em ângulo reto com auxílio de um gabarito de madeira (Figura 4).

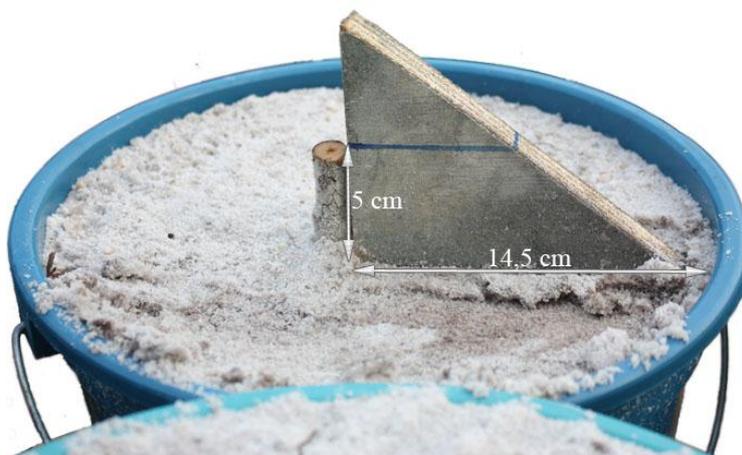


Figura 4: Esquema de plantio das estacas nos recipientes

3.4. Coleta de dados

Após 60, 90 e 120 dias, 30 estacas de cada espécie foram escavadas com auxílio de um jato de água a baixa pressão. A taxa de sobrevivência por espécie foi calculada a partir da equação 1:

$$Ts\% = \frac{Ns}{Nt} * 100$$

Onde:
 Ts% = Taxa de sobrevivência em porcentagem
 Ns = Número de estacas com enraizamento e rebrota por espécie
 Nt = Número total de estacas analisadas por espécie (30 estacas)

Equação 1: Taxa de sobrevivência por espécie

Considerou-se para **Ns** as estacas que apresentaram raízes de no mínimo 1 mm de comprimento, podendo ou não apresentar calos e rebrota de no mínimo 5 mm de comprimento.

Para cada estaca sobrevivente foi realizada análise da distribuição das raízes ao longo da estaca (terço inferior ou em toda extensão da estaca) e mensuradas as seguintes variáveis de crescimento: número de brotos, diâmetro de brotos, comprimento dos brotos, comprimento da maior raiz e massa seca de raízes e de brotos. Foram considerados nas medições apenas os brotos e raízes primários, ou seja, com origem diretamente na estaca. Para mensuração da massa seca de brotos e raízes por estaca, todos os brotos e raízes foram destacados e armazenados em embalagens de papel. Posteriormente, este material foi seco em estufa a 75 °C até a verificação de peso constante. A partir desses dados foram calculadas as seguintes variáveis para cada espécie:

$$Nm_{brotos} = \frac{Nt_{brotos}}{Ne_{vivas}}$$

Equação 2: Número médio de brotos por estaca (Nm_{brotos})

$$M \sum C_{brotos} = \frac{\sum C_{brotos}}{Ne_{vivas}}$$

Equação 3: Média da soma do comprimento dos brotos por estaca ($M \sum C_{brotos}$)

$$Md_{brotos} = \frac{\sum d_{brotos}}{Nt_{brotos}}$$

Equação 4: Média do diâmetro dos brotos (Md_{brotos})

$$Mms_{brotos} = \frac{\sum ms_{brotos}}{Ne_{vivas}}$$

Equação 5: Média da massa seca de brotos por estaca (Mms_{brotos})

$$Mcm_{raiz} = \frac{\sum cm_{raiz}}{Ne_{vivas}}$$

Equação 6: Média do comprimento da maior raiz por estaca (Mcm_{raiz})

$$Mms_{raizes} = \frac{\sum ms_{raizes}}{Ne_{vivas}}$$

Equação 7: Média da massa seca de raízes por estaca (Mms_{raizes})

Onde:

Nt_{brotos} = Número total de brotos

Ne_{vivas} = Número de estacas vivas

$\sum C_{brotos}$ = Soma do comprimento dos brotos

$\sum d_{brotos}$ = Soma do diâmetro dos brotos

$\sum ms_{brotos}$ = Soma da massa seca de brotos

$\sum cm_{raiz}$ = Soma do comprimento da maior raiz por estaca

$\sum ms_{raizes}$ = Soma da massa seca de raízes

3.5. Análise estatística

Para verificar se a taxa de sobrevivência, medida pelo número de estacas vivas e mortas, é independente da espécie, foi realizado o teste χ^2 (qui-quadrado) para os três períodos de avaliação. Análises de regressão linear simples para os dados referentes a 60, 90 e 120 dias após a instalação do experimento foi utilizada para testar o efeito do diâmetro da estaca sobre a taxa de sobrevivência e as variáveis de crescimento. Nessas análises, as estacas

que não apresentaram desenvolvimento de brotos e/ou raízes (mortas) também foram consideradas. Para selecionar as variáveis de crescimento a serem utilizadas nas análises de regressão, foi verificada a correlação entre a massa seca de brotos e as demais variáveis de crescimento da parte aérea e correlação entre a massa seca de raízes e o comprimento da maior raiz. Quando verificada alta correlação, apenas a massa seca de brotos e raízes foram selecionadas para as análises. As massas secas de brotos e de raízes sempre foram analisadas, por serem variáveis mais agregadas quanto à caracterização do crescimento das plantas.

Na avaliação das características de crescimento das espécies, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, realizaram-se Análises de Variância Multivariada (MANOVA) para cada período (60, 90 e 120 dias) para testar o efeito de espécie (variável independente) sobre as variáveis de crescimento (variáveis dependentes). As variáveis dependentes foram: número de brotos, diâmetro de brotos, somatório do comprimento de brotos, massa seca de brotos, comprimento da maior raiz e massa seca de raízes. Apenas as estacas sobreviventes foram consideradas nestas análises. O teste *post-hoc* de Hotelling, ao nível de $\alpha=0,05$, foi utilizado para verificar quais espécies diferenciaram-se entre si.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das onze espécies estudadas, *B. grossularioides*, *V. guianensis*, *C. lanjouwensis* e *C. insignis* não apresentaram estacas com rebrota ou enraizamento. *W. coccinea*, *V. cayennensis* e *G. glabra* apresentaram rebrota em 58%, 39% e 3% das estacas, respectivamente, mas não desenvolveram raízes. A maioria das brotações secaram até 60 dias após o plantio, mantendo-se vivas apenas até o esgotamento das reservas contidas nas estacas. Técnicas de estiolamento localizado ou combinado com anelamento dos ramos ou aplicação exógena de reguladores de crescimento podem permitir a obtenção de melhores resultados na propagação de espécies difíceis de enraizar (Biasi, 1996). O uso dessas técnicas, apesar de onerar as intervenções, pode aumentar a diversidade de espécies passíveis de serem utilizadas em recuperação de áreas degradadas utilizando macroestacas.

Entretanto, neste trabalho, apenas o potencial inerente à fisiologia de cada espécie foi avaliado, sem intervenções mecânicas ou hormonais para facilitação da propagação vegetativa.

Spondias mombin apresentou rebrota em 53% das estacas e desenvolveu calos radiculares em 31% das estacas. Os calos radiculares foram observados nas coletas de 90 e 120 dias após o plantio (Figura 5). No momento das observações, os brotos ainda se encontravam vigorosos. Estas evidências sugerem uma provável formação radicular posterior.



Figura 5: Desenvolvimento de calos radiculares em estacas de *S. Mombin* em 90 dias (a) e 120 dias de plantio (b)

Desta forma, pode-se inferir que, nas condições estabelecidas, as espécies que não enraizaram não podem ser naturalmente reproduzidas por macroestaquia. Portanto, nas análises seguintes serão abordadas apenas as três espécies que apresentaram satisfatório desenvolvimento de raízes e brotos, apresentando assim potencial reprodutivo por macroestaquia: *A. castaneifolia*, *S. humboldtiana* e *P. aduncum*. Uma breve descrição das características fenotípicas e ecológicas das espécies é abordada no Apêndice A.

4.1. Taxa de sobrevivência

As taxas de sobrevivência para *A. castaneifolia* e *S. humboldtiana* foram altas para os três períodos de avaliação. *S. humboldtiana* apresentou até 100% e nunca inferior a 87% de sobrevivência. *A. castaneifolia* teve como taxa máxima de 86% e mínima de 73% (Figura 6).

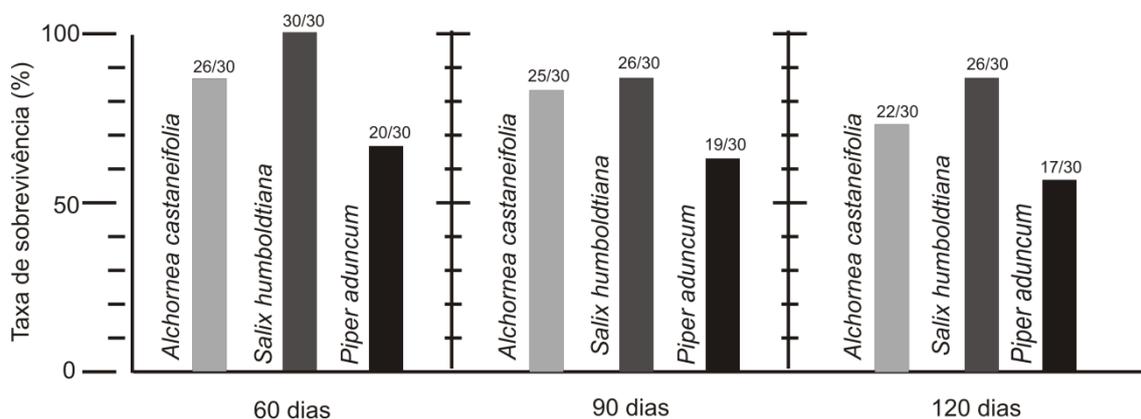


Figura 6: Taxa de sobrevivência das estacas em número e porcentagem para os três períodos de avaliação

P. aduncum obteve uma taxa de sobrevivência de 66%, 63% e 56%, aos 60, 90 e 120 dias, respectivamente. Apesar de se verificar um percentual satisfatório, observou-se que nas estacas que não continham uma gema apical evidente (nó) acima do solo quando apresentaram brotos, iniciou-se o desenvolvimento de brotos abaixo do solo, interferindo na sobrevivência da estaca. Sendo assim, optou-se por segregar as análises, para as estacas que continham e não continham nó acima da superfície do solo (Figura 7).

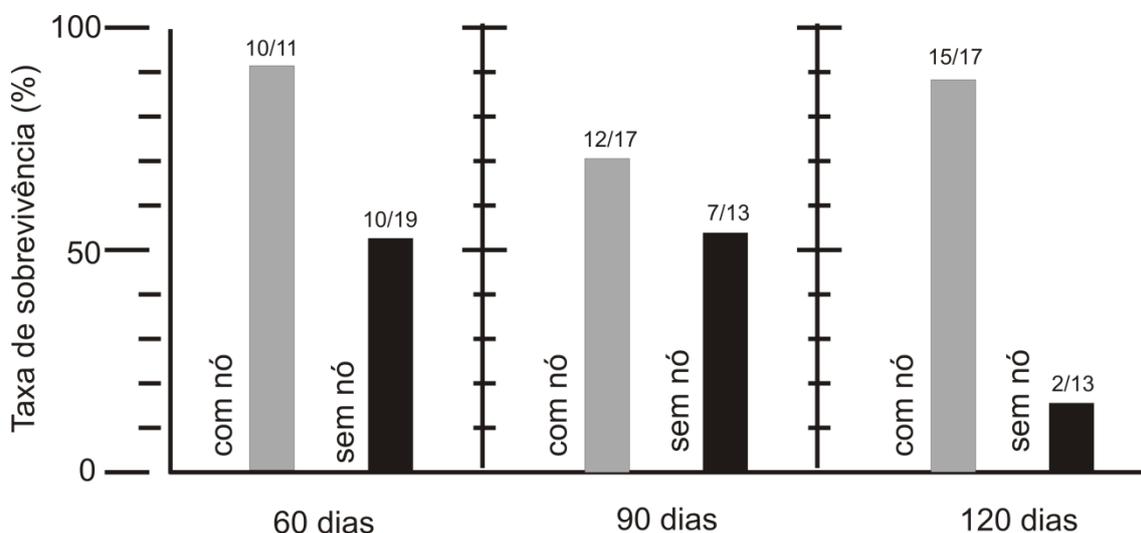


Figura 7: Taxa de sobrevivência das estacas de *P. aduncum* relativo às estacas com nó e sem nó acima do solo em número e porcentagem para os três períodos de avaliação

O número de estacas vivas e mortas foi independente de espécie nos três períodos de avaliação ($\chi^2 < 4,15$; $p < 0,05$), indicando que as três espécies não se diferenciam em termos de sobrevivência. Na Tabela 3, são demonstrados os números de estacas vivas e mortas, após 60, 90 e 120 dias

do plantio para as três espécies. A taxa de sobrevivência é uma das principais características biotécnicas da vegetação. No planejamento e implantação de uma obra de bioengenharia, esse índice permite quantificar quantas estacas devem ser plantadas para resultar no efeito desejado.

Tabela 3: Número de estacas vivas e mortas para 60, 90 e 120 dias de plantio

	Espécie	Estacas		Total
		Vivas	Mortas	
60 dias	<i>A. castaneifolia</i>	26	4	30
	<i>S. humboldtiana</i>	30	0	30
	<i>P. aduncum</i>	10	1	11
	Total	66	5	71
90 dias	<i>A. castaneifolia</i>	25	5	30
	<i>S. humboldtiana</i>	26	4	30
	<i>P. aduncum</i>	12	5	17
	Total	63	14	77
120 dias	<i>A. castaneifolia</i>	22	8	30
	<i>S. humboldtiana</i>	26	4	30
	<i>P. aduncum</i>	15	2	17
	Total	63	14	77

4.2. Influência do diâmetro das estacas sobre as variáveis de crescimento

Para *A. castaneifolia* foram utilizadas massa seca de raízes, massa seca de brotos e número de brotos como variáveis dependentes nas análises de regressão (Tabela 4). Não houve efeito de diâmetro da estaca sobre nenhuma dessas variáveis de crescimento nos três períodos ($-1,19 < t < 0,85$; $p > 0,24$ e $r^2 < 0,048$) – (ver Apêndice B). Embora o modelo apresentado para número de brotos aos 120 dias seja significativo, o baixo coeficiente de determinação ($r^2=0,41$) não permite que tal relação seja encarada mais fortemente do que apenas tendência.

Em *S. humboldtiana*, além da massa seca de brotos e raízes e número de brotos foram utilizados o comprimento da maior raiz aos 90 dias de plantio como variável dependente. Não houve efeito de diâmetro da estaca sobre nenhuma dessas variáveis de crescimento nos três períodos ($-0,508 < t < 0,936$; $p > 0,357$ e $r^2 < 0,030$) – (ver Apêndice C).

Em *P. aduncum* foram utilizadas todas as variáveis para 90 dias exceto número de brotos, pois os pares de variáveis apresentaram baixa ou nenhuma correlação (Tabela 4). Em 60 e 120 dias foram utilizados como variáveis dependentes a massa seca de brotos e raízes e o número de brotos. O número de brotos foi a única variável que se relacionou significativamente com o diâmetro das estacas aos 120 dias de plantio ($t = 7,70$, $p < 0,001$ e $R^2 = 0,68$) – (ver Apêndice D). Portanto, conforme aumenta o diâmetro das estacas espera-se uma maior quantidade de brotos aos 120 dias de plantio.

Tabela 4: Correlação de Pearson entre massas secas de brotos e raízes e as demais variáveis de crescimento em 60, 90 e 120 de plantio para cada espécie

Espécies	Variáveis		Correlação		
			60 dias	90 dias	120 dias
<i>A. castaneifolia</i>	MSB	NB	<u>0,36 ($p=0,052$)</u>	<u>0,51 ($p=0,004$)</u>	<u>0,44 ($p=0,016$)</u>
	MSB	CMB	0,70*	0,64*	0,74*
	MSB	SCB	0,95*	0,86*	0,88*
	MSB	DMB	0,63*	0,63*	0,68*
	MSR	CMR	0,85*	0,70*	0,76*
<i>S. humboldtiana</i>	MSB	NB	<u>0,35 ($p=0,057$)</u>	<u>0,58*</u>	<u>0,06 ($p=0,734$)</u>
	MSB	CMB	0,85*	0,72*	0,80*
	MSB	SCB	0,91*	0,90*	0,90*
	MSB	DMB	0,74*	0,71*	0,69*
	MSR	CMR	0,77*	<u>0,49 ($p=0,006$)</u>	0,64*
<i>P. aduncum</i>	MSB	NB	<u>0,40 ($p=0,030$)</u>	0,61*	<u>-0,04 ($p=0,819$)</u>
	MSB	CMB	0,96*	<u>0,26 ($p=0,166$)</u>	0,75*
	MSB	SCB	0,91*	<u>0,44 ($p=0,015$)</u>	0,85*
	MSB	DMB	0,59*	<u>0,28 ($p=0,139$)</u>	0,80*
	MSR	CMR	0,90*	<u>0,28 ($p=0,129$)</u>	0,94*

* $p < 0,001$

MSB: Massa seca de brotos, NB: número de brotos, CMB: comprimento médio dos brotos, SCB: soma do comprimento dos brotos, DMB: diâmetro médio dos brotos, MSR: massa seca de raízes, CMR: comprimento da maior raiz. Destaque para os valores sublinhados que indicam a falta de correlação entre as variáveis

4.3. Variáveis de crescimento

A verificação das variáveis de crescimento de raízes e brotos é necessária para a descrição da aptidão biotécnica de uma espécie. A facilidade de uma espécie se propagar vegetativamente e desenvolver densa massa aérea e radicular aceleram o recobrimento da superfície e agregam uma grande quantidade de solo, promovendo proteção contra os processos erosivos. Enquanto os componentes da vegetação acima do solo absorvem parcialmente a energia dos agentes erosivos da água e do vento, que é reduzida até atingir o solo, o sistema radicular das plantas contribui para a resistência mecânica do solo (Styczen e Morgan, 1995).

A MANOVA detectou diferenças significativas entre as espécies para as variáveis de crescimento consideradas nos três períodos de avaliação (Pillai Trace $\geq 0,841$; GL = 12 e $p < 0,001$ para os três casos). Todas as espécies diferiram pelo teste *post-hoc* de Hotelling (*S. humboldtiana* \neq *A. castaneifolia* \neq *P. aduncum*) para os três períodos (Hotelling's T-square $> 32,92$; $p < 0,001$ para os três casos).

S. humboldtiana teve a maior produção de brotos (em número, comprimento e massa seca) para os três períodos de avaliação (Figura 8), o que demonstra o alto potencial desta espécie em realizar diferenciação celular, resultando em rápido desenvolvimento vegetativo. O resultado para esta espécie corrobora com o descrito no experimento conduzido por Sutili (2004), que ao combinar as características de número e comprimento de brotos, verificou que *S. humboldtiana* apresenta excelentes resultados para volume de brotos.

Em relação ao número de brotos por estaca, *A. castaneifolia* manteve uma média constante de dois brotos para os três períodos de avaliação, enquanto o *S. humboldtiana* reduziu de quatro para três e *P. aduncum* de dois para um já nos 90 dias de avaliação (Figura 8). Isso se deve, pelo fato das espécies possuírem intensa brotação inicial, contudo, com o passar do tempo, alguns brotos secam e não foram contabilizados brotos secos nas medições.

Após 90 e 120 dias as raízes de *A. castaneifolia* atingiram comprimento superior, porém com massa seca de raízes inferior as do *S. humboldtiana*. Em relação ao comprimento da maior raiz, *P. aduncum* apresentou valores

inferiores para os três períodos, mas teve a maior massa seca de raízes aos 120 dias (Figura 8), devido à característica da espécie não possuir raízes muito longas, mas uma grande quantidade de raízes mais curtas.

Com base nos resultados desta análise, pode-se inferir que *S. Humboldtiana* e *A. castaneifolia* são capazes de se desenvolver vegetativamente num ritmo esperado para serem aplicadas em intervenções biotécnicas. Apesar de *P. aduncum* ter mostrado produção de brotos inferiores, é uma espécie importante pelo fato de sua produção de raízes se equilibrar com as de *S. humboldtiana* a partir dos 90 dias.

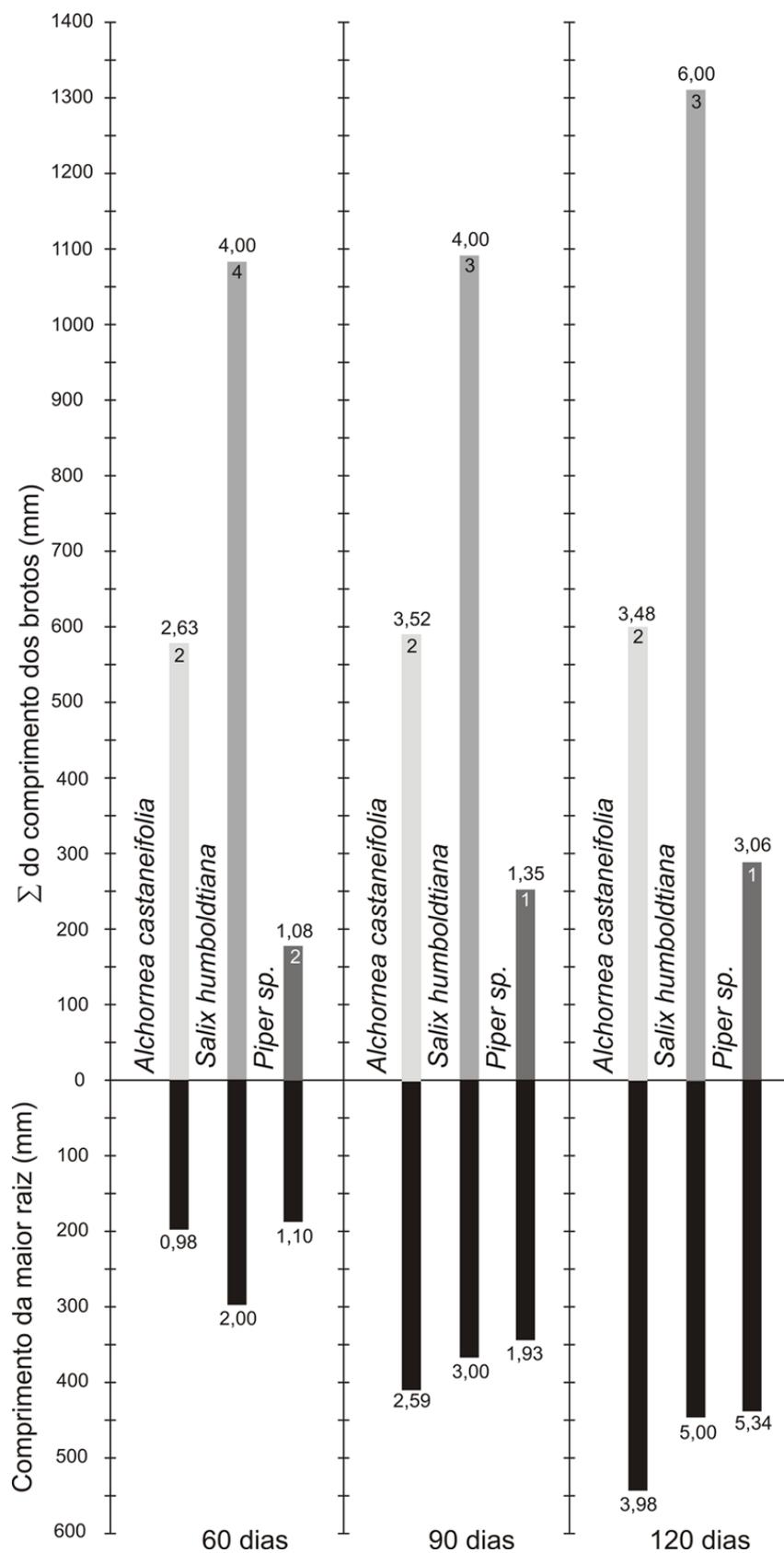


Figura 8: Crescimento vegetativo das espécies nos respectivos períodos de avaliação. As barras superiores mostram a média da soma do comprimento dos brotos por estaca. Os números acima das barras indicam a média da massa seca de brotos por estaca (g), e os números dentro das barras indicam o número médio de brotos por estaca. As barras inferiores mostram a média dos comprimentos da maior raiz por estaca. Os números abaixo das barras indicam a média da massa seca de raízes por estaca (g)

4.4. Arquitetura do sistema radicular

O efeito mecânico ou reforço das raízes das plantas sobre a estabilidade das encostas é atribuída, principalmente, ao aumento da resistência ao cisalhamento do solo (Wu, 1995). A região da estaca onde se desenvolvem as raízes permite identificar a profundidade em que o solo estará sendo aderido pelas plantas, após as intervenções biotécnicas, influenciando assim na coesão deste e conseqüentemente a contenção do deslocamento de massa.

A arquitetura do sistema radicular das três espécies é fasciculada. *A. castaneifolia* apresentou a maioria das raízes desenvolvidas no terço inferior das estacas (Figura 9). Em *S. humboldtiana*, verificou-se raízes distribuídas por todo o comprimento da estaca (Figura 10), corroborando com resultados de Sutili (2004). No entanto, Monteiro (2009) utilizando o mesmo ângulo de plantio empregado para este trabalho (90°) verificou a produção de raízes apenas no terço inferior das estacas. Possivelmente, a falta de um sistema de irrigação diária no trabalho de Monteiro (2009) dificultou o aparecimento de raízes nas porções superiores das estacas. Sem irrigação diária em substrato arenoso, a porção superior do substrato resseca, estimulando a planta a produzir raízes apenas no terço inferior da estaca.



Figura 9: Estacas de *A. castaneifolia* evidenciando o desenvolvimento predominante das raízes no terço inferior das estacas.



Figura 10: Estacas de *S. humboldtiana* evidenciando o desenvolvimento de raízes em toda a extensão das estacas sob o solo. Escala 2x2 cm

Os brotos de *S. humboldtiana* que iniciaram o seu desenvolvimento abaixo da areia também apresentaram o surgimento de raízes como pode ser verificado na Figura 11, demonstrando o intenso enraizamento da espécie.



Figura 11: Emissão de raízes pelos brotos de *S. humboldtiana* que iniciaram seu desenvolvimento abaixo do solo. Escala 1x1 cm

P. aduncum concentrou a maioria das raízes na altura dos nós, localizados abaixo da superfície do solo (Figura 12). É importante na reprodução por macroestaquia desta espécie que sejam acondicionados o maior número possível de nós acima e abaixo do solo, tendo em vista que a alta concentração de tecido meristemático nesta região favorece a diferenciação em raízes e brotos, aumentando a quantidade destas estruturas.



Figura 12: Estacas de *P. aduncum* evidenciando o desenvolvimento de raízes nas nodificações. Escala 2x2 cm

O desenvolvimento de raízes somente na base da estaca neste caso significa que a estrutura radicular estará concentrada a partir de 15 a 20 cm de profundidade no solo. O desenvolvimento de raízes em toda a extensão da estaca agrega o solo desde a sua superfície, dificultando que a estaca seja desenterrada pela ação erosiva do solo.

5- CONCLUSÕES

A reprodução vegetativa por macroestaquia sem o uso de reguladores de crescimento não foi viável em *B. grossularioides*, *V. guianensis*, *C. lanjouwensis*, *C. insignis*, *W. coccinea*, *V. cayennensis*, *G. glabra* e *S. mombin*, neste experimento.

A. castaneifolia, *S. humboldtiana* e *P. aduncum* apresentaram boa aptidão biotécnica, sendo promissoras para a restauração de ambientes degradados na Amazônia, com o emprego de técnicas de bioengenharia. *S. humboldtiana* e *A. castaneifolia*, além da elevada taxa de sobrevivência (>87% e >73% respectivamente), foram capazes de produzir rapidamente grande massa de brotos e de raízes.

Em *P. aduncum* a taxa de sobrevivência foi superior a 70% para os três períodos de avaliação quando consideradas apenas as estacas com a presença de um nó acima da superfície do solo. Em comparação com as demais apresenta uma produção de brotos inferior, porém a partir dos 90 dias de plantio se equipara em termos de massa de raízes. Para a propagação por

macroestaquia de espécies com caule geniculado, como é o caso de *P. aduncum*, deve-se assegurar a presença de nós acima e abaixo da superfície do solo, devido ao acúmulo de tecido meristemático nestas zonas e conseqüente aumento do sucesso na produção de células radiculares ou foliares.

As três espécies produzem um sistema radicular bastante fasciculado. *S. humboldtiana* se distingue pelo fato de apresentar raízes em todo o comprimento da estaca. Essa característica garante maior agregação do solo pelas raízes e aumenta a estabilidade das plantas, diminuindo as chances das estacas serem desenterradas por efeito da ação erosiva do solo. *A. castaneifolia* produz raízes na base de suas estacas, enquanto em *P. aduncum* as raízes se desenvolveram predominantemente nos nós abaixo do substrato.

Em *A. castaneifolia* e *S. humboldtiana* não houve influência do diâmetro nas variáveis de crescimento, isso expressa que o uso de estacas dentro da amplitude diamétrica estudada incorrerá em resultados de crescimento similares. Para *P. aduncum*, o diâmetro das estacas tem influência positiva na quantidade de brotos com o passar do tempo (120 dias de plantio). Essas informações orientam a coleta e diminuem o tempo de seleção do material vegetativo em campo.

CAPÍTULO II

CONFEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE RETENTORES DE EROÇÃO LAMINAR

1 - INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, os programas de recuperação ecológica são executados com alguns vícios que comprometem o modelo de conservação *in situ*: uma visão fortemente dendrológica, com uso quase que exclusivo de espécies arbóreas e a utilização de espécies exóticas o que propicia a contaminação biológica local (Reis *et al.*, 2003). Diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de testar técnicas de nucleação, semeadura direta, enriquecimento de capoeira e transposição de camadas superficiais do solo. No entanto, são necessárias novas investigações que desenvolvam técnicas focadas nas peculiaridades locais, como declividade do terreno e tipo de solo, por exemplo. É nesse contexto que a bioengenharia de solos surge como alternativa.

Na bioengenharia, os elementos estruturais inertes prestam resistência imediata à erosão, a partir da proteção da superfície contra o salpicamento e transporte de partículas do solo. Portanto, estas estruturas desempenham papel fundamental no estabelecimento inicial da vegetação em áreas sujeitas à erosão. As estruturas inertes frequentemente utilizadas são pedras, madeira, metal, plástico, geossintéticos e materiais previamente fabricados em diversas formas e componentes. Conforme a vegetação torna-se estabelecida, suas raízes se dispersam no solo, ligando as partículas em uma coerente massa (Reddy, 2010).

Nas últimas três décadas a responsabilidade ambiental tem sido aplicada a uma gama cada vez mais diversificada de empreendimentos, inovações e tecnologias, incluindo a conversão de resíduos, proteção ambiental, restauração ambiental e arquitetura e paisagismo (Todd *et al.*, 2003). Seguindo esta tendência, a bioengenharia de solos atualmente, tem intensificado a utilização de compósitos confeccionados a partir de resíduos ou fibras vegetais como componente inerte.

No Brasil, existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas que apresentam uma série de

vantagens, quando comparados a produtos artificiais. As fibras vegetais possuem elevada resistência, baixa densidade, alta trabalhabilidade, são biodegradáveis e obtidos de fontes renováveis. Adicionalmente apresentam baixo custo financeiro e, na Amazônia onde há uma vasta diversidade e disponibilidade quantitativa deste material, podem ser uma valiosa fonte de renda para a população rural, o que pode acrescentar a perspectiva social aos projetos de bioengenharia que visem à confecção de estruturas com esta matéria-prima.

Nesse trabalho foram confeccionadas e avaliadas as características físico-mecânicas de estruturas pré-fabricadas com partículas vegetais e adesivos biodegradáveis. Dessa maneira, pretende-se contribuir com o desenvolvimento de material inerte a partir de técnicas inovadoras, eficientes e adequadas à restauração ecológica de áreas degradadas.

2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1. Desenvolver três modelos biodegradáveis para retentores de erosão laminar;
- 2.2. Descrever e comparar as características físico-mecânicas de absorção e inchamento em água e resistência para os diferentes tipos de fibras e adesivos.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O preparo das partículas, aplicação do adesivo e prensagem para confecção das peças, bem como os ensaios de absorção e inchamento em água foram conduzidos no Centro de Pesquisas em Produtos Florestais (CPPF) do INPA. Os ensaios de resistência físico-mecânica foram realizados no Núcleo de Ensaios de Materiais da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas - UFAM.

3.1. Confecção e preparo das partículas

Três tipos de matéria-prima foram utilizados para obter as partículas: cascas secas de coco (*Cocos nucifera*), folhas secas de buriti (*Mauritia flexuosa*) e madeira picada de *Eucalyptus sp.* As partículas das cascas de coco

e das folhas de buriti foram produzidas com auxílio de moinho de martelo Bison Bähre & Greten modelo 85100 com malha de 8 mm. A madeira picada foi obtida através de um triturador de madeira *Hombak* modelo Zoa 18. As partículas foram secas ao ar livre e peneiradas para a retirada de impurezas e partículas finas.

3.2. Aplicação do adesivo

Adesivo é uma substância capaz de manter reunida a superfície de peças diferentes. Isso é decorrente de propriedades intrínsecas da substância que, sob certas condições, tem interação com um substrato. Os atributos desejáveis mais importantes de um adesivo são: preparação mínima da superfície, custo razoável, fácil aplicação com o mínimo de habilidade, fixação dentro de um tempo razoável e rigidez do adesivo menor ou igual à dos substratos (Marra, 1992).

Nesse estudo, foram utilizados dois tipos de adesivos, látex centrifugado 60% e poliacetato de vinila – PVA (cola branca). O látex ou borracha natural é uma matéria-prima utilizada em vários setores, como: hospitalar/farmacêutico, brinquedos, calçados, construção civil, maquinário agrícola, industrial e autopeças, adesivos e revestimentos (Lizama *et al.*, 2001; Rippel e Bragança, 2009). O PVA é um polímero sintético biodegradável (Matsumura *et al.*, 1999), amplamente utilizado para colagem de madeiras de alta e média porosidade, laminados decorativos, papel, papelão, couro, MDF, aglomerados e compensados. Os adesivos foram previamente diluídos em água na proporção de 5:1, diretamente aplicados sobre as fibras e imediatamente homogeneizados em um tambor giratório.

3.3. Moldagem por compressão

Neste trabalho, foram desenvolvidos retentores de erosão laminar, compostos por peças independentes e encaixáveis em três formatos: grade, retangular e trapezoidal (Figura 13). Esses formatos foram utilizados com o propósito de propiciar facilidade no momento de transporte e encaixe, permitindo planejamento específico inclusive para instalação em curvas de

nível. Após a completa homogeneização das partículas com o adesivo, a massa foi prensada em 77% do volume inicial dentro dos moldes de aço. Para tanto, foi utilizada prensa hidráulica de pratos planos, Dieffenbacher LP 420a, em quatro horas de prensagem à temperatura ambiente.

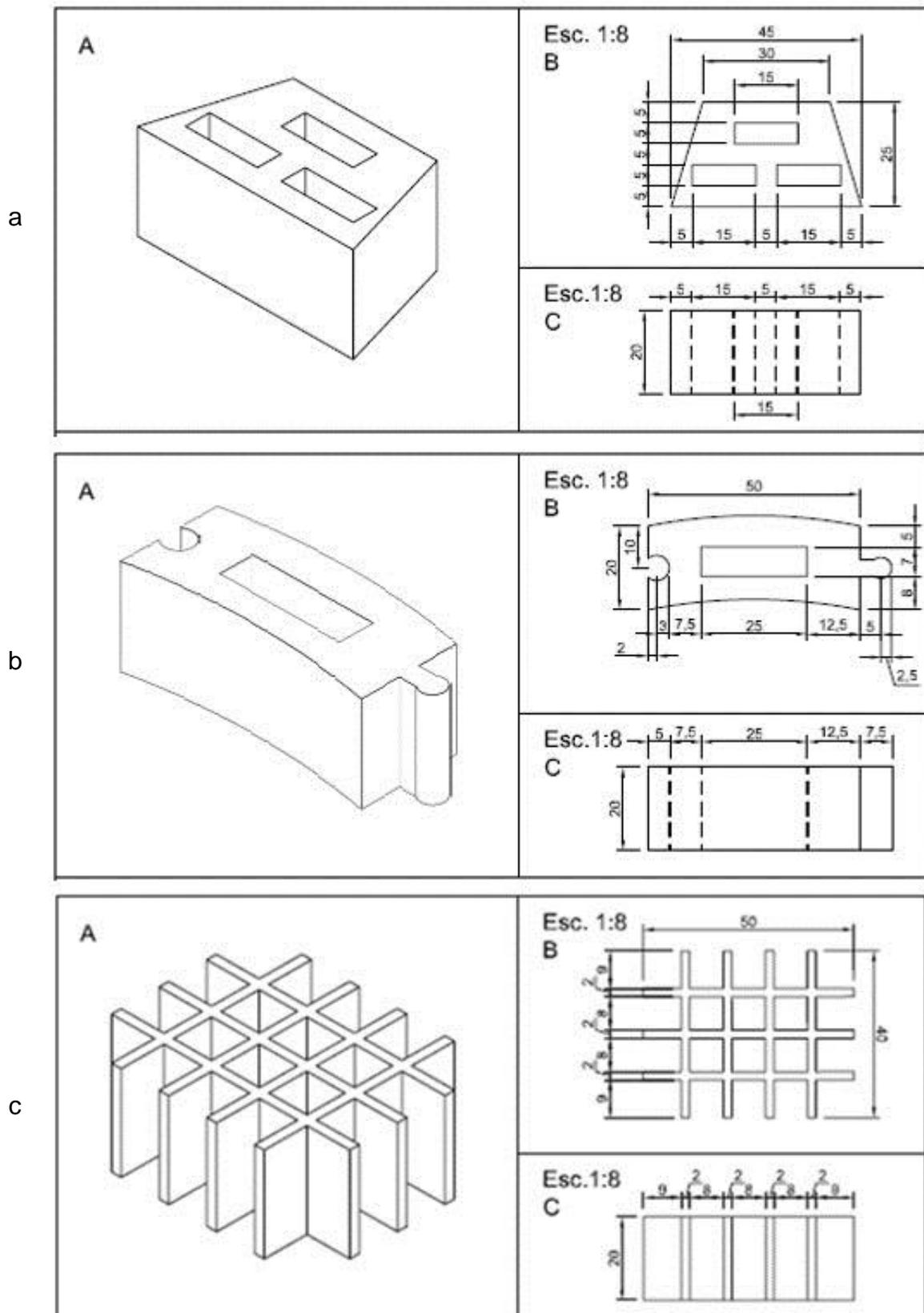


Figura 13: Esquema representando o formato das estruturas: trapezoidal (a), retangular (b) e grade (c)

3.4. Testes piloto

Inicialmente, foram realizados testes piloto para definir as proporções de diluição do adesivo e das quantidades de partículas e adesivo para cada formato das estruturas. As quantidades de adesivo utilizadas foram as mínimas necessárias para que fosse possível desmoldar as estruturas das formas de aço. O formato de grade, por conter uma superfície de contato maior entre o molde e a massa de fibras/adesivo, foi a que apresentou a maior dificuldade para desmoldar.

O adesivo PVA conferiu resistência suficiente apenas para desmoldar as estruturas confeccionadas com fibra de coco e em dois formatos (trapezoidal e retangular). Utilizando madeira picada ou palha de buriti com PVA a estrutura se rompeu no momento da retirada dos moldes (Figura 14), devido à cura incompleta do agente cimentante. As formulações e os modelos das estruturas possíveis de serem confeccionadas resultaram em onze tratamentos (Tabela 5).



Figura 14: Exemplo de estrutura confeccionada com PVA que não foi possível desmoldar

Tabela 5: Tratamentos do experimento, com respectivos formatos e formulações

Tratamento	Formato	Formulação			
		Fibra de coco (Kg)	%	Látex (Kg)	%
1	Trapezoidal	2,2	58	1,6	42
2	Retangular	2,4	58	1,75	42
3	Grade	2,4	58	1,75	42
		Palha de buriti (Kg)		Látex (Kg)	
4	Trapezoidal	3,4	40	5,0	60
5	Retangular	4,5	40	6,6	60
6	Grade	3,4	40	5,0	60
		Madeira picada (Kg)		Látex (Kg)	
7	Trapezoidal	3,4	50	3,4	50
8	Retangular	4,5	50	4,5	50
9	Grade	3,4	50	3,4	50
		Fibra de coco (Kg)		PVA (Kg)	
10	Trapezoidal	2,2	58	1,6	42
11	Retangular	2,4	58	1,75	42

3.5. Ensaio físico-mecânico

Os ensaios físico-mecânicos foram executados em três repetições para cada tratamento, utilizando-se as estruturas inteiras. Os testes de absorção e inchamento foram fundamentados nas medições de peso e dimensões (largura, comprimento e altura) das estruturas. Com as peças limpas, antes da exposição à água, foram realizadas marcações dos locais de medição com tinta a óleo. Em seguida, foram mensurados o peso e as dimensões iniciais das peças em teste, e sequencialmente imersas por completo em água durante duas horas. Ao retirar as peças da imersão, estas foram secas superficialmente com papel toalha e imediatamente obtidas as medidas de peso e dimensões nos locais marcados. As mesmas peças foram novamente submersas por 22 horas (para completar 24 horas) e submetidas ao mesmo tratamento e medições descritos para imersão por 2 horas. Os índices de inchamento (Equação 8) e absorção em água (Equação 9) foram mensurados em centímetros e litros respectivamente.

$$I = (L_2 - L_1) + (C_2 - C_1) + (H_2 - H_1)/3$$

Onde:

I = Índice de inchamento (cm)
 L2 = Largura após imersão
 L1 = Largura inicial
 C2 = Comprimento após imersão
 C1 = Comprimento inicial
 H2 = Altura após imersão
 H1 = Altura inicial

Equação 8: Índice de inchamento

$$AA = (P_2 - P_1)$$

Onde:

AA = Absorção de água (l)
 P2 = Peso após imersão (Kg)
 P1 = Peso inicial (Kg)

Equação 9: Índice de absorção de água

Para o ensaio de resistência à flexão foi mensurada a força capaz de romper o vazio central das peças, utilizando máquina universal de ensaios hidráulica EMIC - capacidade máxima 300 kN. Como não foram empregados corpos de prova e sim exemplares inteiros das peças, estas foram submetidas ao ensaio sobre um apoio de madeira confeccionado com o mesmo contorno, de modo a sustentar a face inferior (Figura 15).



Figura 15: Ensaio de resistência a flexão no espaço vazio central dos diferentes tipos de estruturas. Destaque para os apoios de madeira

3.6. Análise estatística

O delineamento experimental compreende 11 tratamentos com 3 repetições cada. Foram analisadas absorção, inchamento e resistência à flexão para os tratamentos utilizando o artifício estatístico paramétrico da análise de variância (ANOVA) com nível de significância $\alpha = 0,05$. Para avaliar o efeito dos tratamentos na variação da absorção e inchamento foi empregada a ANOVA de medidas repetidas, pois as medições pelo tempo de imersão em água por duas e 24 horas foram tomadas nas mesmas estruturas. Quando constatada diferença entre os tratamentos, realizou-se o teste *post-hoc* de Tuckey ($\alpha=0,05$) para verificar entre quais tratamentos havia diferença.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comparação entre os adesivos PVA e látex centrifugado

Tendo em vista que o adesivo PVA foi viável apenas na confecção de estruturas com fibra de coco em formatos trapezoidal e retangular (tratamento 10 e 11 – Tabela 5), essas estruturas foram analisadas comparativamente quanto às resistências somente com as de mesmo formato utilizando o látex centrifugado como adesivo (tratamento 1 e 2 – Tabela 5). A análise de variância de medidas repetidas detectou que a absorção de água (AA) não se difere estatisticamente entre os diferentes tipos de adesivos ($F=0,011$; $p=0,919$; $GL=1,10$), porém a quantidade de água absorvida é significativamente maior ($p < 0,000$) em 24 horas se comparada com 2 horas de imersão em água para as mesmas peças (Figura 16).

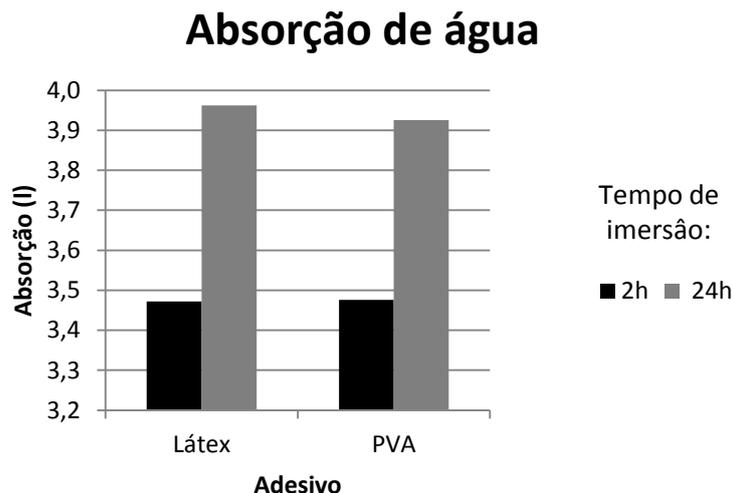


Figura 16: Absorção de água em estruturas confeccionadas com látex e PVA em 2 e 24 h de imersão

Em relação ao inchamento existe diferença entre os tipos de adesivo utilizados ($F=84,72$; $p=0,006$; $GL=1,10$; Figura 17). Além disso, o inchamento respectivo às 24h é significativamente maior do que o registrado para 2 horas de imersão ($F= 29,1$, $p=0,000$), sendo este efeito dependente dos tratamentos ($F=11,8$; $p=0,006$). As estruturas fabricadas com o PVA como adesivo apresentaram intensa deformação após 24 horas de imersão em água, em relação às peças fabricadas com látex (Figura 18).

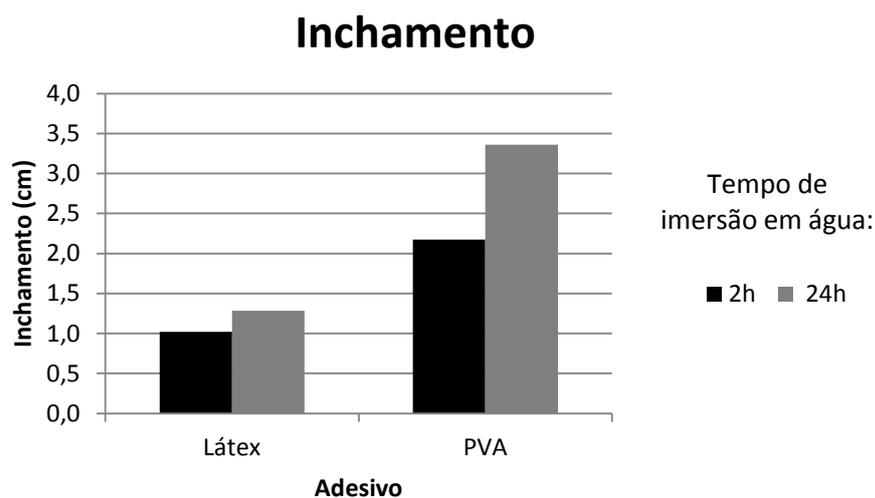


Figura 17: Inchamento de estruturas confeccionadas com látex e PVA em 2 e 24 h de imersão em água

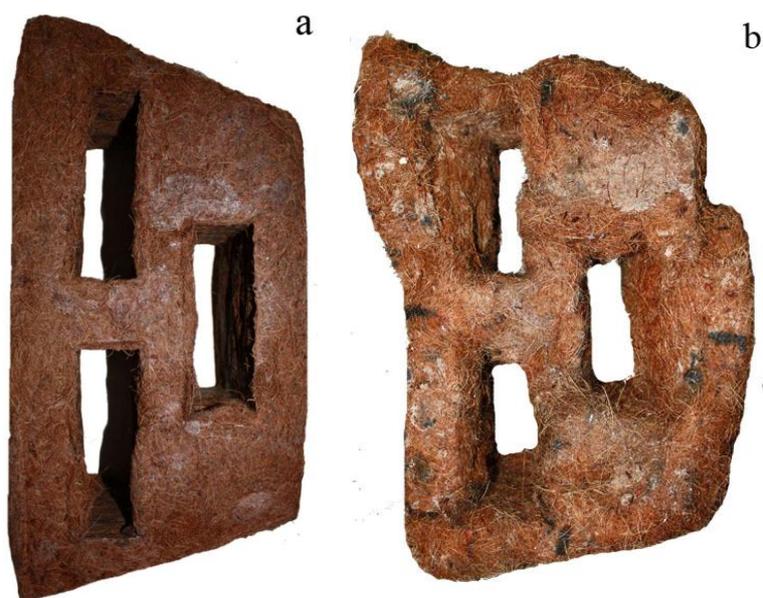


Figura 18: Deformação de estrutura fabricada com látex (a) e PVA (b) após 24h de imersão em água

As estruturas confeccionadas com PVA resistiram mais e apresentaram maior deformação específica para o rompimento quando comparadas com as estruturas fabricadas com látex (GL= 1,10; $p < 0,029$; Figura 19).

Força máxima e deformação específica

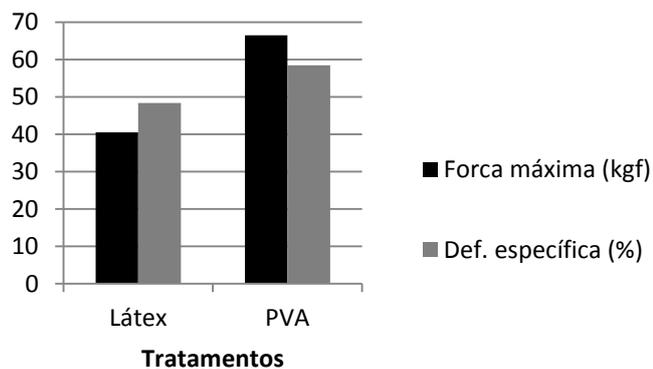


Figura 19: Força máxima e deformação específica para o rompimento dos contentores fabricados com látex e PVA

4.2. Comparação entre as fibras e os formatos utilizados

Nesta etapa são apresentados apenas os resultados dos ensaios físico-mecânicos nos compósitos fabricados com látex como adesivo (tratamentos 1 ao 9). A partir do ensaio de imersão foi observado que todas as estruturas possuem elevada capacidade de absorção, considerando que em duas horas o peso de água absorvido foi o dobro do peso das peças. A análise de variância de medidas repetidas detectou que não houve efeito dos tratamentos (tipos de fibras e formatos) sobre a absorção de água ($F= 2,04$; $p=0,1$; $GL=8,18$), porém a quantidade de água absorvida é significativamente maior em 24 horas do que em 2 horas após a imersão para as mesmas peças ($F=223,02$; $p<0,0001$; Figura 20). Além disso, a interação entre tratamento e tempo de absorção ($F=3,95$; $p = 0,007$) indica que o efeito temporal da absorção foi dependente dos tratamentos.

Nos tratamentos 4, 5 e 6 (palha de buriti), a absorção em 24h foi maior comparativamente a 2h, ao passo que nos tratamentos 7 e 9 (madeira picada) a absorção em 2h e 24h não foi significativa (Figura 20). As maiores quantidades de látex utilizadas nestes tratamentos refletem na AA, principalmente nas primeiras horas de imersão devido à menor superfície de contato entre as fibras e a água.

Os três primeiros tratamentos (fibra de coco e látex), que possuem menor quantidade de adesivo em sua formulação, apresentam absorção relativa a duas horas de imersão em água maior do que os demais tratamentos (Figura 20). Isso provavelmente ocorre devido à quantidade de espaços vazios e aptidão do material (fibra de coco) em reter água. Essa é uma informação útil em situações práticas de campo, no que diz respeito à absorção e disponibilidade de água pelos retentores para as plantas no caso de chuvas esparsas.

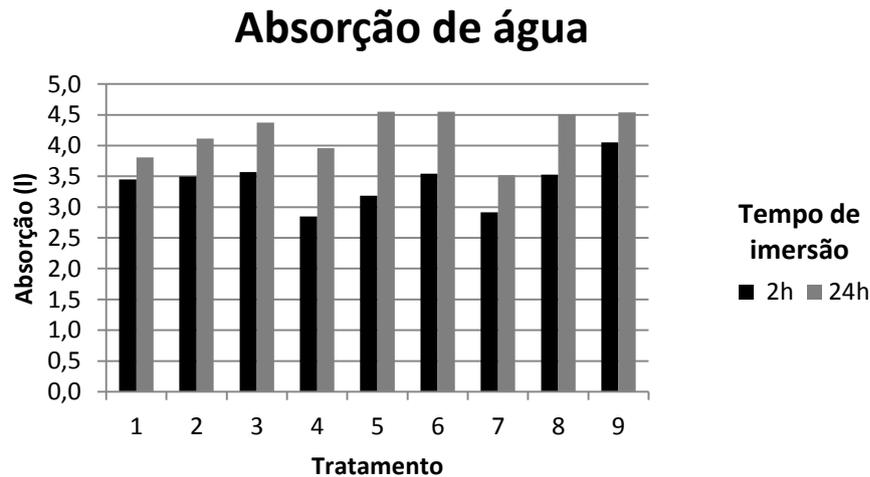


Figura 20: Absorção de água para os diferentes tratamentos para 2 e 24 horas de imersão

Em relação ao inchamento existe diferença significativa entre os tratamentos ($F=9,95$; $p<0,0001$; $GL=8,18$). O inchamento respectivo a 24 horas de imersão é superior ao de 2 horas ($F= 223,57$; $p<0,0001$) influenciada pelos tratamentos, visto que a interação também foi significativa ($F=3,5$; $p=0,01$, Figura 21). Esses dados demonstram que a maior quantidade de adesivo (látex) no compósito diminuiu o inchamento. Pode-se verificar que os tratamentos 1, 2 e 3 são os que apresentam os maiores valores de inchamento, o que é explicado pela maior proporção fibra/adesivo (58/42%) utilizada em sua formulação (Tabela 5). Apesar de conferir maior inchamento, com valores de no máximo 1,6 cm, estes não foram suficientes para desagregar a estrutura. Adicionalmente, esta partícula é o material menos oneroso em termos de quantidade de adesivo e dificuldade para desmoldar. Isso ocorre por efeito da anatomia desta partícula que sendo mais longa, apresenta elevada relação comprimento/espessura, e assim a matéria-prima se entrelaça conferindo resistência com menor quantidade de adesivo.

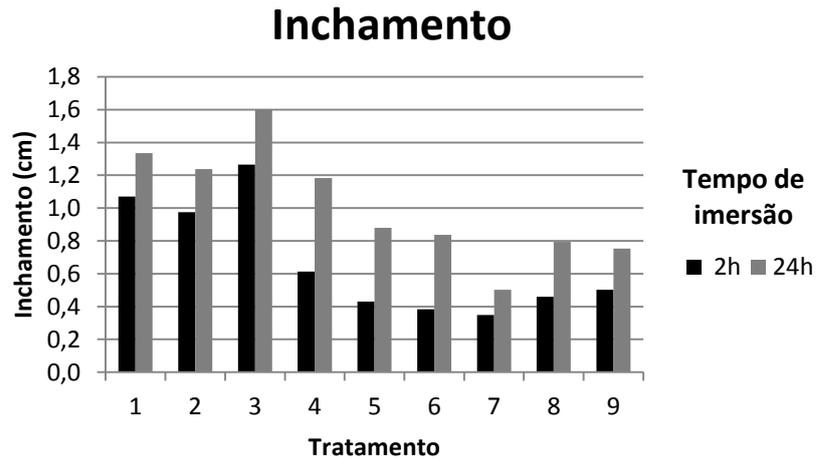


Figura 21: Inchamento para os diferentes tratamentos para 2 e 24 horas de imersão em água

A força para o rompimento das estruturas foi estatisticamente diferente para todos os tratamentos ($F=53,52$; $p=0,000$; $GL=8,18$). Pode-se dividir os tratamentos em 3 grandes grupos que coincidem com o tipo de partícula que foi utilizada exceto o tratamento 4 o qual se difere dos demais tratamentos 5 e 6, que possuem palha de buriti em sua formulação. Dessa forma os retentores que apresentaram a maior resistência foram os confeccionados com madeira picada (Figura 22). Em comparação com os outros tipos de partículas a madeira picada utilizou látex na proporção de 1:1, enquanto palha de buriti foi a partícula que necessitou de maior quantidade de adesivo, contrastando com fibra de coco que utilizou adesivo em menor quantidade.

A deformação seguiu o padrão da força máxima para romper as estruturas se diferenciando estatisticamente entre os tratamentos ($F=132,85$; $p=0,000$; $GL=8,18$). Pode-se observar na Figura 22 que os tratamentos 3, 6 e 9 (formato de grade), foram os que conseguiram demonstrar maior deformação até o registro de ruptura da estrutura. Isso pode ser em decorrência da espessura das paredes da estrutura nesse formato que propicia maior flexibilidade.

Força máxima e deformação específica

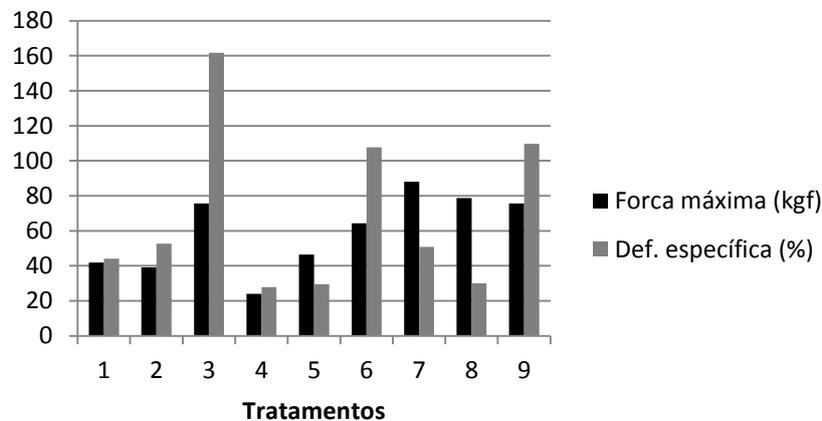


Figura 22: Força máxima e deformação específica para o rompimento dos contentores de erosão.

5 – CONCLUSÕES

A caracterização tecnológica dos retentores de erosão é essencial à decisão de produção destas peças em larga escala, para aplicação em campo. Inovadora, o uso dessa tecnologia pode propiciar a diminuição da degradação ambiental causada pela erosão laminar do solo.

Considerando os adesivos testados, conclui-se que a cola PVA não confere rigidez suficiente para desmoldar as peças confeccionadas com palha de buriti e madeira picada. Em todos os formatos, a palha de buriti além de não proporcionar cura com PVA, possui a composição que consome maior proporção de adesivo (látex), aumentando o custo de produção e, ainda assim, apresentando maior inchamento quando comparadas às de madeira picada.

Para fibra de coco, apesar de o PVA conferir maior resistência à ruptura e deformação específica e não se diferenciar em termos de absorção de água, quando comparadas com as estruturas de látex, após 24 horas de imersão o adesivo PVA é diluído e as peças desmancham. Dessa forma verifica-se que o PVA, não suporta contato prolongado com a água, inviabilizando por isso, a utilização deste produto como agente cimentante para a fabricação de retentores de erosão hídrica.

As peças confeccionadas com fibra de coco apresentaram inchamento superior às demais. Porém o inchamento médio não é suficiente para deformá-las ou desintegrá-las e esta partícula é o material menos oneroso em termos de quantidade de adesivo e dificuldade para desmoldar.

O formato de grade foi o que apresentou a maior deformação específica até a ruptura da estrutura. No entanto, este formato é o que apresenta maior dificuldade para moldagem e desmoldagem da massa de partículas/adesivo, devido à maior superfície de contato entre a parede dos moldes e a massa de partículas.

Portanto, dentre os modelos de retentores estudados, os fabricados com fibra de coco ou madeira picada e látex como adesivo nos formatos trapezoidais e retangulares foram os que apresentaram as melhores condições de serem produzidos em larga escala. Os retentores de fibra de coco são vantajosos por usar menor quantidade de adesivo, mas os de madeira picada podem aproveitar os resíduos de serraria, reduzindo assim o tempo e custo de preparo das partículas. Da maneira como foram conduzidos os ensaios de resistência à flexão pode-se afirmar que, quando instalados em campo, a resistência dos retentores à erosão laminar será ainda maior, considerando que os vazios centrais estarão preenchidos com substrato e plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à dificuldade de locomoção na região amazônica para coleta de material vegetativo, recomenda-se o plantio das espécies com alto potencial biotécnico para formação de jardins de estacas. Isso facilitará a obtenção de grande quantidade e variedade de material de propagação para intervenções posteriores. Os consórcios diversificados de espécies em programas de restauração ecológica, selecionadas a partir de características técnicas adequadas a cada situação, aumentarão o sucesso de recolonização da biota.

Além das vantagens ambientais, esta metodologia apresenta do ponto de vista socioeconômico, a possibilidade de envolvimento das comunidades locais. Na confecção das peças, a coleta de matérias-primas vegetais com alta disponibilidade no bioma amazônico e ainda o processamento tecnológico de baixa complexidade podem configurar uma alternativa de geração de trabalho e renda. Adicionalmente, exemplos práticos da implantação e monitoramento deste método de recuperação de áreas degradadas em campo, aliados à caracterização fisiológica das espécies, poderão agregar valor às intervenções. Os cálculos de serviços ambientais podem ser realizados a partir da verificação da assimilação de carbono, das alterações no microclima e do controle de movimentação de solo, promovidos pela intervenção de bioengenharia.

Devem ser avaliadas novas espécies, bem como investigadas mais informações biotécnicas a respeito das que possuem potencial de propagação vegetativa confirmado. Um novo cenário de caracterização e divulgação destas espécies, aliado à prescrição de estruturas que propiciem condições de estabelecimento inicial das plantas, favorece a aplicação da bioengenharia de solos para recuperação de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altreiter, W.; Plunger, K. 2004. Ingenieurbiologische Maßnahmen am Rio Guarda-mor Südbrazilien. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien. 164 pp.

Aminah H.; Dickb, J. McP.; Leakey, R.R.B.; Gracec, J.; Smithb, R.I. 1995. Effect of indole butyric acid (IBA) on stem cuttings of *Shorea leprosula*. *Forest Ecology and Management*, 72: 199-206.

Arruda, W. C. 2005. Estimativa dos processos erosivos na base de operações geólogo Pedro de Moura Urucu – Coari – AM. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 80 pp.

Bento, R. A. 2010. Custeio baseado em atividades das técnicas de restauração de áreas degradadas na Amazônia central. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 108 pp.

Biasi, L. A. 1996. Emprego do estiolamento na propagação de plantas. *Ciência Rural*, 26: (2) 309-314.

Durlo, M. A.; Sutili, F. J. 2005. Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água, Porto Alegre: EST edições, 189 pp.

Evette, A.; Labonne, S.; Rey, F.; Liebault, F.; Jancke, O.; Girel, J. 2009. History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe, *Environmental Management*, 43: 972–984.

Gray, D.H.; Sotir, R. B. 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. Wiley, New York. 369 pp.

Kevers, C., J. Hausman, O. Faivre-Rampart, D. Evers, Th. Gaspar, 1997. Hormonal control of adventitious rooting: Progress and questions. *Angewandte Botanik*, 71: 71–79.

Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 259-263.

Kuzovkina, Y. A.; Volk, T. A. 2009. The characterization of willow (*Salix L.*) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autecology. *Ecological Engineering*, 35: 1178–1189

Leahey, R. R. B. 2004. Physiology of vegetative reproduction. *Encyclopedia of Forest Sciences*, Academic Press, London, UK, pp. 1655-1668.

Leahey, R. R. B.; Newton, A. C.; Dick, J. McP. 1994. Capture of genetic variation by vegetative propagation: processes determining success. In: Leahey, R. R. B.; Newton, A. C., (eds.) *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. London, HMSO, 72-83.

Leahey, R.R.B. 1985. The capacity for vegetative propagation in trees. In: *Attributes of trees as crop plants*, edited by M.G.R. Cannell & J.E. Jackson, 110-133. Abbots Ripton, Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology.

Li, X.; Zhang, L.; Zhang, Z. 2006. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town. Shanghai. China. *Ecological Engineering*, 26: 304 - 314.

Lizama, B.; López-Castañares, R.; Vilchis, V. 2001. Morphological characterization of composite latex particles by positron annihilation lifetime spectroscopy. *Mat Res Innovat*, 5: 63–66.

Magalhães, R. A.; Furtado, G. de O. 2001. *Erosão e formas de controle*, Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, Belo Horizonte, 31pp.

Marra, A. A. 1992. *Technology of Wood bonding – principles in practice*. New York, Van Nostrand Reinhold. 453 pp.

Matsumura, S.; Tomizawa, N.; Toki, A.; Nishikawa, K.; Toshima, K. 1999. Novel Poly(vinyl alcohol)-Degrading Enzyme and the Degradation Mechanism. *Macromolecules*, 32: 7753-7761.

Molinaro, L. C.; Vieira, G. 2007. Aspectos ecológicos de plantaciones para restauración de áreas degradadas, II Simposio internacional sobre restauración ecológica, Libro Resumen, Santa Clara – Cu, p 111.

Monteiro, J. S. 2009. Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 109pp.

Nascimento, J. G. C. 2009. A influência da erosão na regeneração de clareiras. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 160 pp.

Paes, E. G. B.; Höger Filho, G.; Zuffellato-Ribas, K. C.; Brito, F. P. de. 2006. Estaquia de *Abeliox grandiflora* Hort, ex L, H, Bailey. *Cultura agrônômica*, 15: (1) 26 – 36.

Paiva, H.N.; Gomes, J.M. 1993. Propagação vegetativa de espécies florestais, Viçosa, MG: Universidade federal de Viçosa, 40 pp.

Petrobras (Petróleo brasileiro). 2009. Província Petrolífera de Urucu. (www2.petrobras.com.br/minisite/urucu/urucu.html). Acesso: 11/05/09.

Pezeshki, S. R.; Brown, C. E.; Elcan, J. M.; Douglas Shields, Jr. F. 2005. Responses of Nondormant Black Willow (*Salix nigra*) Cuttings to Preplanting Soaking and Soil Moisture. *Restoration Ecology*, 13: (1) 1 - 7.

Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117 - 1122.

Reddy, R. N. 2010. Soil Engineering: Testing, Design and Remediation. Gene-Tech Books. 272 pp.

Reis, A.; Bechara, F. C.; Espíndola, M. B.; Vieira, N. K. 2003. Restauração de áreas degradadas: A Nucleação como base para os processos sucessionais. Revista Natureza & Conservação, 1 (1): 28 - 36.

Rey, F.; Isselin-Nondedeu, F.; Be´de´carrats, A. 2005. Vegetation dynamics on sediment deposits upstream of bioengineering works in mountainous marly gullies in a Mediterranean climate (Southern Alps, France), Plant and Soil, 278: 149 - 158.

Rocha, E. J. P.; Ribeiro, J. B. M.; Bruce, F. 2004. Avaliação da taxa de infiltração superficial em clareiras na Amazônia. (<http://projetos.inpa.gov.br/ctpetro/lworkshop/pi3/pi3-01.pdf>). Acesso: 21/05/09.

Rippel, M. M.; Bragança, F. do C. 2009. Borracha natural e nanocompósitos com argila. Quim. Nova, 32: 818-826.

Sampaio, P. de T. B.; Siqueira, J. A. S. de; Costa, S; Bruno, F. M. S. 2010. Vegetative propagation by mini-cuttings of preciosa (*Aniba canelilla* (H.B.K) Mez). *Acta Amazonica*, 40: 687 - 691.

Schiechtl, H. M. 1973. Bioingegneria Forestale. basi - materiali da costruzioni vivi - metodi. Tipolitografia Castaldi-Feltre. 263 pp.

Schiechtl, H. M. 2002. Slope protection by bioengineering techniques. Geotechnical Engineering Handbook. v. 2: Slope protection by bioengineering techniques. 679 pp.

Styczen, M. E.; Morgan, R. P. C. Engineering properties of vegetation. In: Morgan, R. P. C.; Rickson, R. J. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London: E & FN Spon, 1995. p. 5 - 58.

Sutili, F. J. 2004. Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 114 pp.

Sutili, F. J. 2007. Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: Espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática. Tese de doutorado, Universidade Rural de Viena, Viena, Áustria. 95 pp.

Sutili, F. J.; Durlo, M. A.; Bressan, D. A. 2004. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. *Ciência Florestal*, 14: (1) 13-20

Tanaka, A.; Vieira, G. 2006. Autoecologia das espécies florestais em regime de plantio de enriquecimento em linha na floresta primária da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 36: 193 - 204.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 pp.

Todd, J.; Brown, E.J.G.; Wells, E. 2003. Ecological design applied. *Ecological Engineering*, 20: 421 - 440.

Vastano Jr, B.; Barbosa, A. P. 1983. Propagação vegetativa do piquiá (*Caryocar villosum* Pers.) por estaquia. *Acta Amazonica*, 13 (1): 143 - 148.

Wu, T.H. 1995. Slope stabilization. In: Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. (Eds.), *Slope Stabilisation and Erosion Control: A Bioengineering Approach*. E & FN Spon, London, pp. 221–264.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Descrição das espécies

Alchornea castaneifolia (Humb.& Bonpl. ex Willd.) A. Juss.

Alchornea castaneifolia é conhecida popularmente como oeirana-folha-grossa ou ourana. Ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Acre, Maranhão, Pernambuco, Bahia e Mato Grosso (Cordeiro e Secco, 2010). É uma árvore pioneira de 1,5 a 6 m, que coloniza áreas freqüentemente alagadas, estando por muitas vezes quase submersa (Secco, 2004; Wittmann *et al.*, 2006; Figura 1).

As folhas são geralmente estreito-lanceoladas, as margens serrilhadas a denteado-glandulosas, rodeadas por uma faixa crustácea; faces adaxial e abaxial glabras, nervuras impressas na adaxial, levemente proeminentes na abaxial, nervura central achatada, domáceas ausentes (Secco, 2004; Figura 2).

As flores são pistiladas com cálice dialissépalo e o fruto obovado. A floração ocorre nos meses de janeiro, maio a julho, e novembro, enquanto a frutificação ocorre de março a julho e setembro a dezembro (Secco, 2004; Figura 2).

Wittmann *et al.* (2006) afirmam que a espécie forma grupos mono específicos nos níveis mais altos de inundação, tendo um crescimento rápido e curto ciclo de vida. Desenvolvem profundas raízes primárias que oferecem suporte mecânico relativamente alto contra a velocidade da água, durante as fases de inundação (Wittmann *et al.*, 2006). Outra característica importante é a formação de uma nova camada de raízes secundárias conforme a deposição de sedimentos durante as fases de cheia (Wittmann e Parolin, 2005).



Figura 1: Exemplar de *A. castaneifolia* á margem do Rio Solimões (Iranduba - AM/agosto 2010)



Figura 2: Material botânico de *A. castaneifolia* com destaque para frutos e inflorescência. Escala 5x5 cm

Piper aduncum L.

A família Piperaceae é representada por plantas herbáceas, arbustos e raramente árvores. O gênero *Piper* é um dos maiores da família Piperaceae, com pelo menos 1.000 espécies distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais, especialmente da Ásia e do Novo Mundo (Nunes *et al.*, 2007).

O gênero *Piper* é frequentemente um elemento dominante dentro da floresta tropical e se constitui num dos cinco gêneros mais importantes na seleta floresta Neotropical. Não surpreendentemente, as espécies *Piper* têm grande importância ecológica e são consideradas espécies “chave”, com base

em suas associações com morcegos frugívoros (Fleming, 1981, 1985; Bizerril, 1998). Por serem espécies pioneiras, são particularmente comuns em áreas perturbadas, em bordas de floresta e em clareiras produzidas pela queda de árvores.

Piper aduncum popularmente conhecida como pimenta-de-macaco ou pimenta-longa é um arbusto ou arvoreta até 8 m de altura, muito nodoso. Folhas com pecíolo de 0,3-0,8 cm de comprimento, lâmina elíptica, ovado-elíptica ou ovado-lanceolada, 10-15(-23) x 4-7 cm, base assimétrica, arredondado-cordada, ápice agudo ou acuminado, escabrosa, áspera ao tato em ambas as faces, glandulosa; nervuras secundárias 6-8, dispostas até ou pouco acima da porção mediana. Espigas curvas, 7-14 cm comprimento, 0,2-0,3 cm diâmetro; pedúnculo 1-2 cm de comprimento, pubescente; bractéolas triangular subpeltadas, margem franjada. Estames 4. Drupa obovóide, tri ou tetragonal, glabra, 3 estigmas sésseis (Guimarães e Giordano, 2004; Figura 3).



Figura 3: Material botânico de *P. aduncum*. Escala 2x2 cm

A planta é utilizada na medicina popular da região amazônica em diversas doenças e no seu óleo essencial o constituinte majoritário é o fenilpropanóide dilapiol, com propriedades inseticida, fungicida, bactericida, larvicida e moluscicida (Sousa *et al.*, 2008). Porém, apresenta fraco aroma em relação ao safrol quando comparada a *Piper hispidinervum* (Silva e Oliveira, 2000; Pimentel e Pinheiro, 2000).

Salix humboldtiana willd.

A espécie *Salix humboldtiana* willd. é sinonímia de *Salix martiana* Leyb. Pela sua ampla distribuição geográfica que se estende do sul do México até a Argentina (Carpanezzi *et al.*, 1999), recebe inúmeros nomes populares como

oeirana-branca no norte do Brasil e salgueiro, salso, chorão, salseiro, salso-salseiro e salso-crioulo em outras regiões do país. Tem uma ampla distribuição na região de várzea do Rio Solimões, Amazonas.

O salseiro é uma árvore de porte médio (20m), com tronco reto, inclinado ou tortuoso, que pode alcançar até 90 cm de diâmetro e copa ampla, de ramificação ascendente (Marchiori, 2000; Figura 4). A casca, espessa e com profundas fissuras, é dura e castanho-acinzentada. As folhas, simples, linear-lanceoladas, glabras, margem serreada com nervura central proeminente alcançam até 15 cm de comprimento por 1,5 cm de largura (Figura 4). As flores unissexuais reúnem-se em amentilhos pendentes na extremidade dos ramos novos (Marchiori, 2000).

As sementes, muito pequenas apresentam um tufo de pêlos sedosos esbranquiçados, responsáveis pela dispersão anemocórica (Marchiori, 2000). Apresenta aproximadamente 3.500.000 sementes por Kg e a viabilidade de armazenamento é inferior a uma semana (Lorenzi, 1992). Oliveira e Piedade (2002) em trabalho desenvolvido na região de Manaus-AM verificaram que as fenofases floração e frutificação são subsequentes e com curto intervalo independente do diferente período de inundação e do tamanho das plantas consideradas.

O gênero *Salix* é conhecido por sua importância econômica. Muitas de suas espécies são usadas em farmacologia, construção e movelaria. Dos ramos novos de certas espécies prepara-se um tipo de vime utilizado na indústria de móveis rústicos (Oliveira e Piedade, 2002). Além da sua importância econômica, o *S. Humboldtiana* tem papel importante na sucessão dos ambientes de várzea, grande potencial para recuperação de áreas degradadas em especial os ambientes ciliares (Oliveira e Piedade, 2002; Sutili, 2007). Coloniza áreas frequentemente alagadas onde desenvolvem profundas raízes primárias que oferecem suporte mecânico contra a velocidade da água, relativamente alto durante as fases de inundação (Wittmann *et al.*, 2006).

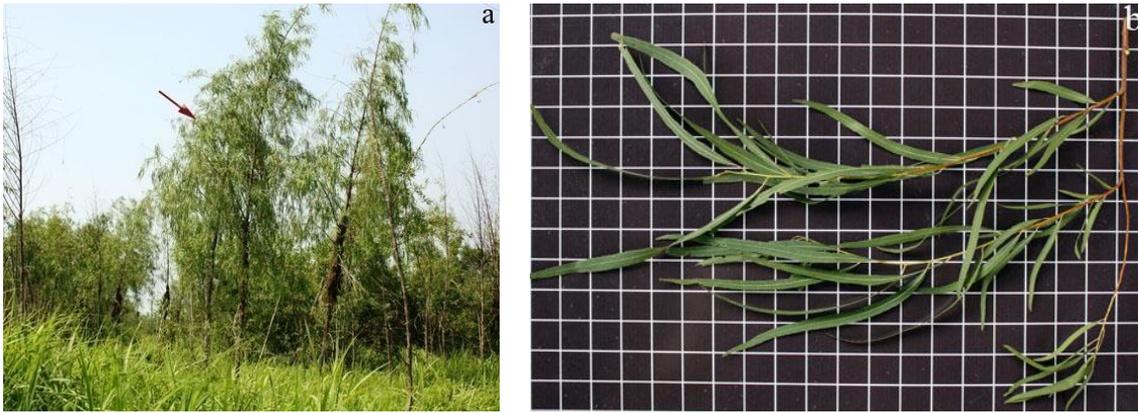


Figura 4: Conjunto de plantas de *S. humboldtiana* á margem do Rio Solimões – Iranduba - AM/agosto 2010 (a) e galho de *S. humboldtiana* (b). Escala 2x2 cm

Referências bibliográficas

Bizerril, M. X. A., RAW, A. 1998. Feeding behaviour of bats and dispersal of *Piper arboreum* seeds in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 14: 109 - 114.

Carpanezzi, A. A.; Tavares, F. R.; Souza, V. A. 1999. Informações sobre a estaquia do salseiro (*Salix humboldtiana* Willd.). Colombo: Embrapa Florestas Circular Técnica 33. 15 pp.

Cordeiro, I.; Secco, R. 2010. Alchornea in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB017455>). Acesso: 06/01/2010.

Fleming, T. H. 1981. Fecundity, fruiting pattern, and seed dispersal in *Piper amalago* (Piperaceae), a bat dispersed tropical shrub. *Oecologia* 51: 42 -46.

Fleming, T. H. 1985. Coexistence of five sympatric *Piper* (Piperaceae) species in a tropical dry forest. *Ecology*, 66: 688 - 700.

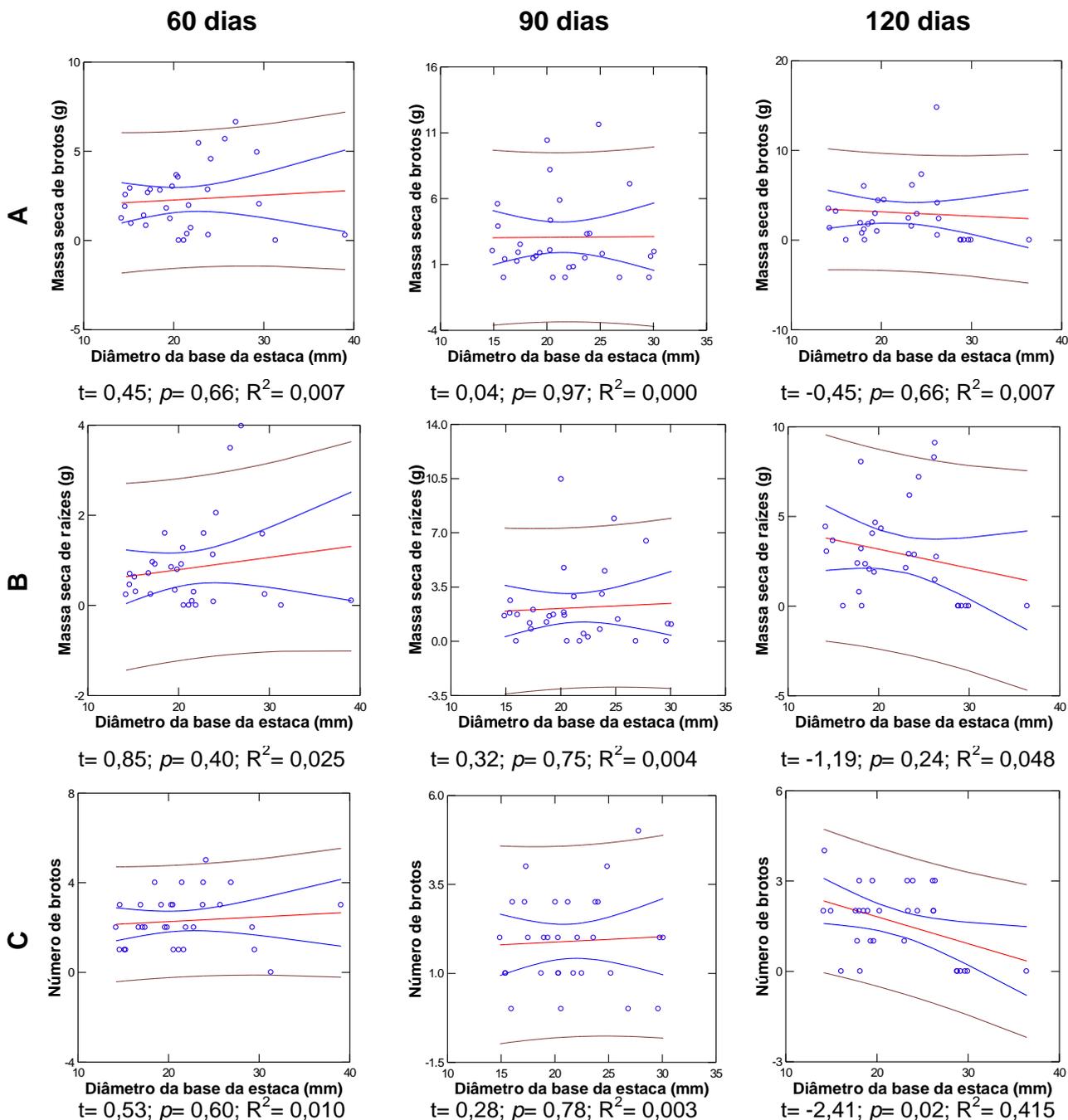
Guimarães, E. F.; Giordano, L. C. S. Piperaceae do Nordeste brasileiro I: estado do Ceará. *Rodriguésia* 55 (84): 21-46. 2004

Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum. 352 pp.

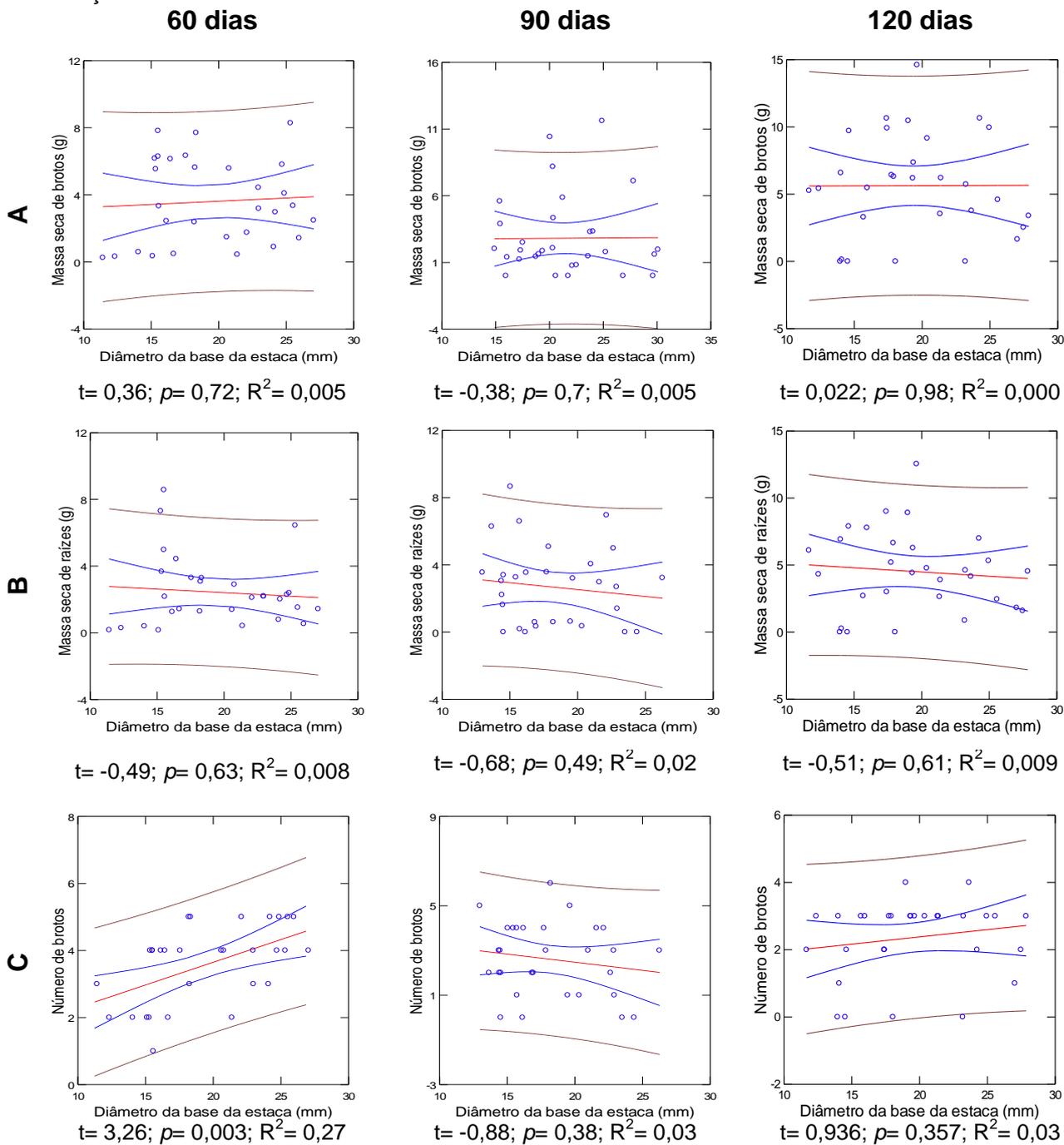
- Marchiori, J. N. C. 2000. Dendrologia das Angiospermas: das Bixáceas às Rosáceas. Ed. da UFSM, Santa Maria. 240 pp.
- Nunes, J. D.; Torres, G. A.; Davide, L. C.; Salgado, C. C. 2007. Citogenética de *Piper hispidinervum* e *Piper aduncum*. *Pesq. agropec. bras.*, 42 (7) 1049-1052.
- Oliveira, A. C. de.; Piedade, M. T. F. 2002. Implicações ecológicas da fenologia reprodutiva de *Salix martiana* LEYB. (Salicaceae) em áreas de várzea da Amazônia Central. *Acta amazonica*, 32: 377 - 385.
- Pimentel, F. A.; Pinheiro, P. S. N. Mapeamento e caracterização de habitats naturais de pimenta longa (*Piper hispidinervum*) no município de Brasiléia. Boletim de Pesquisas número 28, Embrapa, 2000.
- Secco, R. de S.; Giulietti, A. M. 2004. Sinopse das espécies de *Alchornea* (Euphorbiaceae, Acalyphoideae) na argentina. *Darwiniana*, 42: 315-331.
- Sousa, P. J. C.; Barros, C. A. L.; Rocha, J. C. S.; Lira, D. S.; Monteiro, G. M.; Maia, J. G. S. Avaliação toxicológica do óleo essencial de *Piper aduncum* L. *Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy* 18(2): 217-221, 2008.
- Silva, A. C. P. R. da; Oliveira, M. N. de. Caracterização botânica e química de três espécies do gênero *piper* no Acre. Boletim de Pesquisas número 23, Embrapa, 2000.
- Wittmann, F. & Parolin, P. 2005. Above ground roots in Amazonian white-water forests. *Biotropica*, 37: 609–619.
- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Montero, J. C.; Motzer, T.; Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Queiroz, H. L.; Worbes, M. 2006. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*, 33: 1334–1347

Wittmann, F.; Schöngart, J.; Parolin, P.; Worbes, M.; Piedade, M. T. F.; Junk, W. J. 2006. Wood specific gravity of trees in amazonian white-water forests in relation to flooding. *Iawa Journal*, 27 (3): 255 – 268.

APÊNDICE B- Resultado das análises de regressões lineares simples para testar a relação entre o diâmetro da base da estaca de *A. castaneifolia* e massa seca de brotos (A) massa seca de raízes (B) e número de brotos (C) para os três períodos de avaliação



APÊNDICE C - Resultado das análises de regressões lineares simples para testar a relação entre o diâmetro da base da estaca de *S. humboldtiana* e massa seca de brotos (A) massa seca de raízes (B) número de brotos (C) e comprimento da maior raiz (D) para os três períodos de avaliação

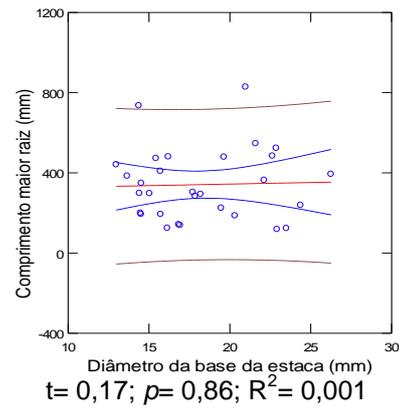


60 dias

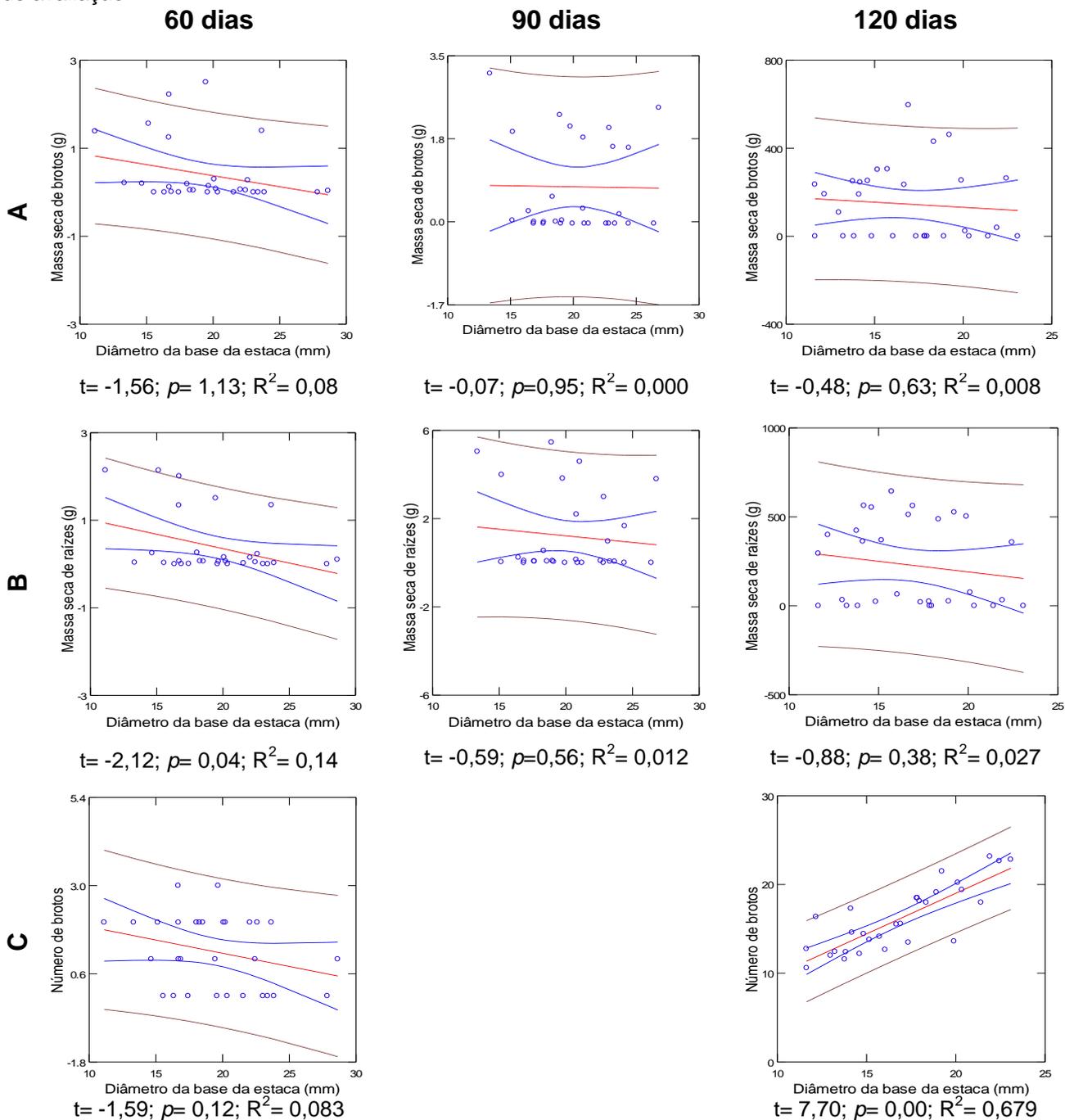
90 dias

120 dias

D



APÊNDICE D-Resultado das análises de regressões lineares simples para testar a relação entre o diâmetro da base da estaca de *Piper sp.* e massa seca de brotos (A) massa seca de raízes (B) número de brotos (C) comprimento da maior raiz (D) comprimento médio dos brotos (E) soma do comprimento dos brotos (F) e diâmetro médio dos brotos (G) para os três períodos de avaliação

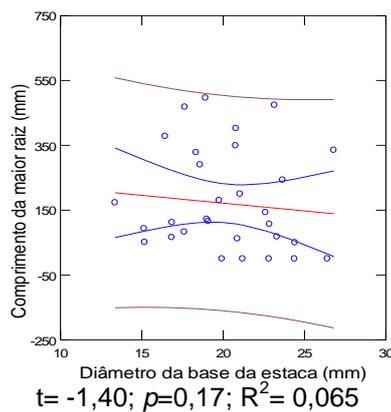


60 dias

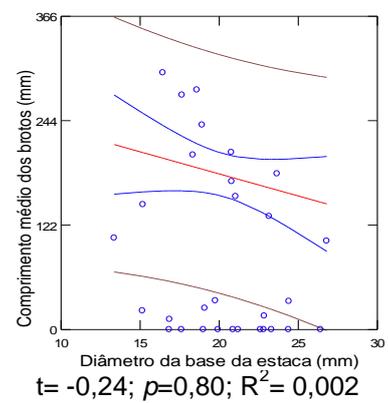
90 dias

120 dias

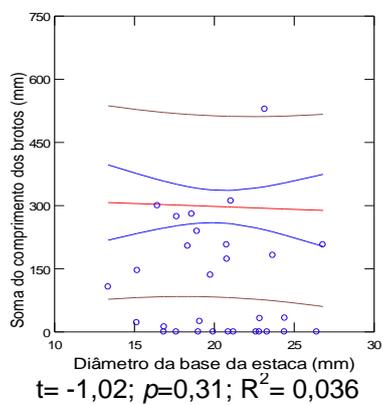
D



E



F



G

