

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

TATIANE KELLY BARBOSA DE AZEVÊDO

RELAÇÃO DE RAIZ E PARTE AÉREA DE PLANTAS JOVENS EM GRUPOS  
FUNCIONAIS FENOLÓGICOS DA CAATINGA

Recife  
2014

TATIANE KELLY BARBOSA DE AZEVÊDO

RELAÇÃO DE RAIZ E PARTE AÉREA DE PLANTAS JOVENS EM GRUPOS  
FUNCIONAIS FENOLÓGICOS DA CAATINGA

Tese apresentada à Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de Doutor em Ciências Florestais

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria Jesus  
Nogueira Rodal  
Co-orientador: André Laurênio de Melo

Recife - PE  
2014

Ficha catalográfica

A994r Azevêdo, Tatiane Kelly Barbosa de  
Relação de raiz e parte aérea de plantas jovens em  
grupos funcionais fenológicos da caatinga / Tatiane Kelly  
Barbosa de Azevêdo. – Recife, 2014.  
52 f. : il.

Orientador(a): Maria Jesus Nogueira Rodal.  
Tese (Programa de Pós Graduação em Ciências  
Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Departamento de Engenharia Florestal, Recife, 2014.  
Referências.

1. Disponibilidade hídrica 2. Floresta seca 3. Grupos  
fenológicos funcionais 3. Plântulas I. Rodal, Maria Jesus  
Nogueira, orientadora II. Título


CDD 634.9


TATIANE KELLY BARBOSA DE AZEVEDO

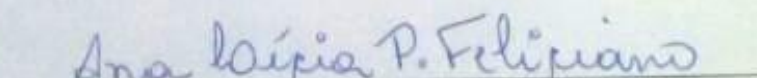
RELAÇÃO DE RAIZ E PARTE AÉREA DE PLANTAS JOVENS EM  
GRUPOS FUNCIONAIS FENOLÓGICOS DA CAATINGA

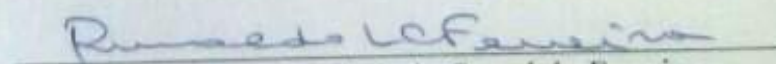
Aprovada em 25 de fevereiro de 2014

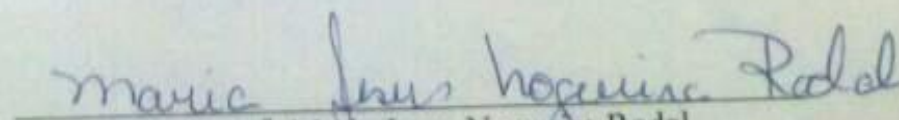
BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Dilosa Carvalho de Alencar Barbosa  
Universidade Federal de Pernambuco

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Lilia Gomes Willadino  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Ana Lícia Patriota Feliciano  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>o</sup>. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

  
Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria Jesus Nogueira Rodal  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Orientadora

Dedico

Aos meus pais Aderbal e Fátima,  
meu amor Anderson Carnaval e todos  
aqueles que, direta ou indiretamente,  
contribuíram para que eu chegasse até aqui.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por renovar as minhas forças e cuidar dos meus caminhos.

A minha família, ao meu pai Aderbal e minha mãe Fátima, por suas orações e palavras de paz, por sempre me apoiarem nas minhas escolhas me incentivando, aos meus irmãos Daniel e Jackson e minha irmã Kellyane.

A minha nova família, meu marido Anderson, pela ajuda desde o início deste sonho, paciência e por estar ao meu lado em todos os momentos, me apoiando e me incentivando, com todo o seu carinho e amor.

Minha sogra Ana Clara, dona Iza, Sônia e Ariane por todo o carinho e apoio em Recife, me recebendo como membro da família.

Aos meus amigos do doutorado, minha amiga de todas as horas Gabriela, que sempre esteve ao meu lado durante esta caminhada, dividindo momentos que jamais serão esquecidos, a Everson que sempre esteve disposto a me ajudar.

Ao meu cunhado Alysson, minha amiga Emmanuely, minha irmã Kellyane que deram sua contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

A minha estimada orientadora a prof. Dr<sup>a</sup> Maria Jesus Nogueira Rodal, por todos os ensinamentos, paciência, preocupação, sendo um exemplo de profissional, ao prof. Dr<sup>o</sup> Everardo Sampaio por todo apoio no desenvolvimento da pesquisa, o qual admiro como o profissional que é e por sua simplicidade, sempre com muita atenção e tranquilidade, Ao meu coorientador André, que muito contribuiu com seu conhecimento científico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Aos professores e funcionários do PPGCF, em especial o secretário Douglas Menezes.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa.

Assim, posso afirmar que esta tese é fruto da contribuição de muitas pessoas.

A vocês que de alguma forma contribuíram, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A disponibilidade hídrica em ambientes áridos e semi-áridos é o fator ambiental mais limitante para o desenvolvimento das plantas. Sabe-se que as plantas submetidas a esse estresse, utilizam distintos mecanismos para captar a água presente no solo. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi verificar se existe alocação diferencial de recursos entre raiz e parte aérea de plantas jovens de espécies lenhosas da caatinga e sua relação com os grupos funcionais fenológicos de lenhosas adultas já conhecidas para a caatinga: sempre-verdes (SV), decíduas de alta densidade de madeira (DADM) e decíduas de baixa densidade (DBDM). O experimento, desenvolvido em casa de vegetação no município de Paudalho – PE teve duração de seis meses, com plantas submetidas a dois tratamentos: irrigação controlada (IC), simulando a distribuição média da chuva de Serra Talhada, Pernambuco; e irrigação abundante (IA) com irrigação contínua até atingir a capacidade de campo. Os resultados mostram que não houve interação (grupo fenológico x tratamento). O tratamento com IA apresentou valores de biomassa total quatro vezes maior que IC. A biomassa de raiz fina foi a única variável que não diferiu entre irrigação abundante e irrigação controlada, apresentando maior investimento desta quando submetida a IC. As plantas DBDM tiveram maior relação raiz: parte aérea (1,069) quando comparadas as DADM (0,53) e SV (0,48). As DBDM apresentam uma estratégia diferenciada dos demais grupos, sendo um fator indicativo destes grupos uma alta biomassa de raiz grossa, seguida de uma baixa biomassa de raiz fina, com uma menor proporção de biomassa de folhas, e maior biomassa total. Enquanto os demais grupos apresentaram um elevado investimento em raízes finas. Os resultados mostram que a IC reduz o desenvolvimento das plântulas nos grupos. Quando submetidas ao tratamento de IC as plantas investem em biomassa de raiz fina. Foi constatado que existem dois grupos representativos por meio das características morfofuncionais de raiz e parte aérea, o grupo das DBDM e um novo grupo, que seria o grupo das espécies de Alta densidade de Madeira (ADM) onde se enquadrariam o grupo das DADM e SV, formando um grupo único, visto que as espécies sempre verdes também apresentam alta densidade de madeira. As DBDM apresentam maior investimento em biomassa de raiz que biomassa de parte aérea, além de maiores valores de biomassa total e área foliar específica.

Palavras - chave: disponibilidade hídrica, floresta seca, grupos fenológicos funcionais, plântulas

## ABSTRACT

The water availability in arid and semi-arid environments is the most limiting environmental factor for plant growth. It is known that plants under this stress use different mechanisms to absorb the water contained in the soil. The aim of this study was to establish the differential allocation of resources between above and belowground of the seedlings of woody species in *caatinga* and their relation with phenological functional groups which are already identified in the *caatinga*: evergreen species (SV), deciduous wood with high density (DADM) and deciduous wood with a low density (DBDM). The experiment had the interval of six months and it was divided into two treatments: controlled irrigation (IC), simulating the average rainfall distribution at Serra Talhada, Pernambuco; and abundant irrigation (IA) (field capacity). The results showed that there was no interaction (phenological group x treatment). Treatment with IA showed values of total biomass four times greater than IC. The fine root biomass was the only variable that differed within treatments, with greater investment when subjected to this IC. The DBDM plants had higher rate root: shoot (1.069) than the DADM (0.53) and SV (0.48). The DBDM shows a different strategy from the other groups, providing low biomass of fine roots, lower proportion of leaf biomass and greater total biomass. The result shows IC treatment reduces the development of the groups. When exposed to IC the plants increase the fine root biomass. The morpho-functional characteristics of aboveground and belowground showed that there are two representative groups which are DBDM and ADM (DADM and SV). The DBDM have a higher increase of belowground biomass than aboveground biomass, as well as higher values of total biomass and specific leaf area. A mathematical model for each functional group of the *caatinga* was developed, in which belowground biomass is found as a function of aboveground biomass.

Keywords: dry forest, water availability, phenological functional groups, seedlings



## LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1	Sementes beneficiadas, A) <i>Erythrina velutina</i> Willd (mulungú), B) <i>Amburana cearensis</i> (Allemao) A. C. Sm. (cumarú), C) <i>Licania rigida</i> Benth. (oiticica), D) <i>Ziziphus joazeiro</i> Mart. (juazeiro), E) <i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud. (mororó), F) <i>Combretum leprosum</i> Mart.(mofumbo)..... 28
Figura 2	Plântulas de <i>Pseudobombax marginatum</i> (Imbiratanha) após dois dias de germinação..... 29
Figura 3	Solo já coletado sendo descarregada na área experimental em Paudalho – PE..... 30
Figura 4	Mudas sendo transplantadas para casa de vegetação..... 30
Figura 5	Raízes finas de <i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Prest (Feijão Bravo) sendo medidas pelo método de intersecção das quadrículas descrito por Tennant (1975)..... 33
Figura 6	Práticas realizadas no desmonte do experimento, <i>Bauhinia cheilantha</i> A) desfolhamento das plantas, B) folhas sendo scaneadas..... 34
Figura 7	Medições médias de altura e diâmetro das sempre verde (SV), decíduas de alta densidade de madeira (DADM) e decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM)..... 38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Grupos funcionais fenológicos da caatinga, decíduas de alta densidade de madeira (DADM), decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) e sempre verde (SV), e suas respectivas espécies florestais.....	26
Tabela 2	Análise de variância dos dados, incluindo todas as espécies por tipo de irrigação, de biomassa de folhas (BF), biomassa de caule (BC), biomassa de raiz grossa (BRG), comprimento da raiz grossa (CRG), biomassa de raiz fina (BRF), comprimento de raiz fina (CRF), biomassa de raiz total (BRT), biomassa aérea (BA), e biomassa total (BT) em função dos tratamentos de irrigação controlada (IC) e irrigação abundante (IA).....	36
Tabela 3	Dado médio de biomassa de raiz grossa (BRG), biomassa de raiz fina (BRF), biomassa de raiz total (BRT), biomassa de folhas (BF), biomassa de caule (BC), biomassa aérea (BA), biomassa total (BT) e área foliar específica (AFE) nos grupos funcionais das decíduas de alta densidade de madeira (DADM), decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) e sempre verde (SV).....	41

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 GRUPOS FUNCIONAIS.....	14
2.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RADICULAR.....	15
2.2.1 Absorção.....	15
2.2.2 Desenvolvimento.....	16
2.3 DESENVOLVIMENTO DA RAIZ EM REGIÕES SEMIÁRIDAS.....	18
2.4 RELAÇÃO RAIZ X PARTE AÉREA.....	19
2.5 INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOB A VEGETAÇÃO.....	21
2.6 BIOMASSA DE RAIZ EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	23
2.7 PROPORÇÃO BIOMASSA AÉREA/BIOMASSA RADICULAR EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES.....	27
3.2 COLETA E PREPARO DO MATERIAL.....	27
3.2.1 Sementes.....	27
3.2.2 Solos.....	29
3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO.....	30
3.4 ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DAS RAÍZES.....	31
3.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS SOBRE PROFUNDIDADE, ESTRUTURA MORFOLÓGICA DE RAIZ E BIOMASSA DE RAIZ, CAULE E FOLHA.....	32
3.6 COLETA E ANÁLISE DE DADOS SOBRE ÁREA DA SUPERFÍCIE DE RAÍZES FINAS E COMPRIMENTO RADICULAR.....	32
3.7 COLETA E ANÁLISE DE DADOS SOBRE LONGEVIDADE FOLIAR E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA.....	33
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
3.8.1 Delineamento experimental.....	34

3.8.2 <b>Analisando os dados</b> .....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
4.1 GRUPOS X IRRIGAÇÃO.....	35
4.2 IRRIGAÇÃO.....	35
4.3 GRUPOS FUNCIONAIS FENOLÓGICOS.....	37
4.3.1 <b>Desenvolvimento dos grupos</b> .....	37
4.3.2 <b>Biomassa de raiz total x biomassa de parte aérea</b> .....	39
4.3.3 <b>Biomassa de raiz fina x biomassa de folha</b> .....	39
4.3.4 <b>Biomassa de raiz grossa x biomassa de caule</b> .....	40
4.4 <b>ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA</b> .....	41
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	42
<b>6. APOIO</b> .....	43
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44

## 1. INTRODUÇÃO

Os nutrientes e a água presentes no solo não estão uniformemente distribuídos no espaço e no tempo. Tal heterogeneidade na repartição desses recursos pode afetar as plantas individualmente em termos de sobrevivência, crescimento, e interações bióticas (PADILLA et al., 2007) e, portanto, alterar a dinâmica populacional. Sabe-se que a disponibilidade de água em ambientes áridos é o fator ambiental mais limitante e que ocorre conforme eventos de chuvas intercalados em períodos distintos de seca, sendo este comportamento importante para abastecimento de água na planta (NOY-MEIR, 1985). A vegetação não só responde a quantidade de chuva (NOY-MEIR, 1985; REYNOLDS et al., 2004), mas também às suas variações no tempo (SALA e LAUENROTH, 1982; TURNER e RANDALL, 1989; LÁZARO et al., 2001.) De tal forma que mudanças relativamente pequenas na frequência de chuvas pode ter fortes efeitos sobre algumas espécies, especialmente de indivíduos jovens de plantas anuais (SHER et al., 2004).

Sabe-se que as plantas utilizam de alguns mecanismos para captar a água presente no solo. Como exemplo, é relatado na literatura que, o investimento em raízes finas, em plantas submetidas a estresse hídrico severo é um destes mecanismos, e pode ser interpretado como uma estratégia para maximizar a absorção radicular das partes mais superficiais do solo (WRIGHT e WESTOBY 1999). A raiz é o órgão especializado para a fixação da planta no solo e para a absorção de água e sais minerais em solução, podendo ainda desempenhar as funções de reserva de substâncias, entre outras. Há uma grande carência de trabalhos com respeito a trabalhos desenvolvidos com avaliação de raízes devido a grande dificuldade de coleta do material (JACKSON et al., 2007).

As tentativas em elaborar classificações funcionais de organismos (NOBLE e GITAY, 1996), vêm definindo a diversidade funcional das comunidades (WALKER et al., 1999, PETCHEY e GASTON, 2002) e avaliando o comportamento das espécies nos ecossistemas (LAVOREL e GARNIER, 2002, EVINER e CHAPIN, 2003), visto que, as plantas respondem de diferentes formas a fatores ambientais tais como, disponibilidade de recursos e distúrbios (ACKERLY, 2004).

Estudos ecofisiológicos de plantas lenhosas de florestas tropicais com clima sazonal têm recebido atenção especial (BORCHERT, 1980; CHAPOTIN et al., 2006),

tendo em vista a importância do entendimento do uso da água pelas plantas nestas florestas. No caso da vegetação de caatinga do nordeste do Brasil sabe-se da existência de três grupos funcionais fenológicos de lenhosas adultas relacionadas com o uso e conservação da água: sempre-verdes, decíduas de alta densidade de madeira e decíduas de baixa densidade.

Diante do exposto, espera-se que, as plantas apresentem maior biomassa de raiz que de parte aérea, independente de sua estratégia. Com relação aos grupos funcionais encontrados na caatinga, espera-se que as espécies sempre-verdes tenham raízes profundas, enquanto as decíduas raízes mais superficiais. Dentre as espécies decíduas espera-se que as de alta densidade de madeira tenham raiz principal mais densa, servindo, portanto, como uma forma de evitar a cavitação, e para dar suporte à planta, enquanto que as de baixa densidade tenham como principal função capturar e armazenar recursos. Em termos da relação superfície das raízes finas ( $\leq 2$  mm) x área foliar espera-se uma maior área de raiz nas espécies decíduas, tendo em vista a necessidade do aproveitamento das primeiras chuvas que ocorrem na caatinga, que é bastante irregular.

## **Objetivos**

**Geral** - Verificar se existe alocação diferencial de recursos entre raiz e parte aérea de plantas jovens de espécies lenhosas da caatinga e sua relação com os grupos funcionais fenológicos conhecidos para a caatinga.

**Específicos** - Caracterizar a estrutura morfológica das raízes; Determinar a área superficial das raízes, comprimento e biomassa; Estimar a biomassa da parte aérea da planta; Avaliar o crescimento (diâmetro e altura da planta).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GRUPOS FUNCIONAIS

Pillar e Sosinski (2003) definem os grupos funcionais como um grupo de plantas que, independente da filogenia, são similares em um dado conjunto de características e similares em sua associação com certas variáveis. Estas variáveis podem ser fatores pelos quais as plantas respondem, como por exemplo, condições de solo, regime de distúrbio ou efeitos das plantas no ecossistema, como produção de biomassa e acumulação de serrapilheira. Já Shugart (1997), de uma forma mais direta, define tipo funcional de planta como um conjunto de características e funções que respondem similarmente aos múltiplos fatores ambientais. Os fatores ambientais podem ser considerados como filtros determinadores para indivíduos que respondem de forma semelhante ao persistir em uma comunidade (KEDDY, 1992).

Weiher et al. (1999) propõe uma lista de características que podem ser observadas para a determinação dos grupos funcionais, bem como, uma metodologia padronizada na coleta de informações. Cornelissen et al. (2003) citam que, quando se estuda estes grupos, o interessante é um conjunto de características que sejam facilmente medidas e sejam de baixo custo para coleta. A determinação de grupos funcionais de ser baseada em características relacionadas com os objetivos do trabalho (WEIHER et al., 1999), entretanto, aquelas relacionadas à fenologia, fisiologia e estrutura da planta são as mais destacadas na literatura (HOLBROOK et al., 1995; WEIHER et al., 1999). Características estruturais, como densidade da madeira, capacidade de armazenamento de água no caule, profundidade do sistema radicular, potencial hídrico, longevidade foliar, época de brotamento e floração e duração do período sem folhas são particularmente importantes para a determinação dos grupos funcionais fenológicos (BORCHERT, 1994; PAVÓN e BRIONES, 2001; SINGH e KUSHWAHA, 2005).

O uso de grupos funcionais pode ser útil para entender as respostas da vegetação a variabilidade histórica ambiental e predizer respostas da vegetação a mudanças ambientais sem a necessidade de conhecer informações detalhadas de cada espécie (REICH et al., 2003), portanto, facilitando a comparação da influência das mudanças climáticas globais nos diversos tipos de vegetação do mundo (WESTOBY, 1998).

## 2.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RADICULAR

A radícula é a primeira estrutura a emergir durante a germinação da semente, promovendo a fixação da plântula no solo e absorção de água (RAVEN et al., 2001). No primeiro momento a plântula usa as reservas encontradas na semente, ao se esgotarem, as raízes passam a depender dos carboidratos assimilados por meio da parte aérea, assim, os fotoassimilados das folhas inferiores são translocados para o sistema radicular (LARCHER, 2004). Todos os fatores ambientais que interferem na produção desses fotoassimilados vão influenciar no desenvolvimento do sistema radicular (ANDRADE, 1997).

O desenvolvimento da primeira raiz, em plantas com sementes, ocorre a partir do promeristema da raiz do embrião. A raiz primária, também chamada de raiz pivotante, suas raízes laterais e outras várias ramificações, constituem o sistema radicular das gimnospermas e dicotiledôneas (ESAU, 2002). Em grande parte das raízes jovens, a epiderme é especializada na função de absorção e, em geral, é provida de pelos absorventes, que se constituem de expansões tubulares das células epidérmicas. A função de absorção não é restrita aos pelos absorventes, células epidérmicas destituídas desses também o fazem, contudo os pelos ampliam consideravelmente a superfície de absorção, em geral, eles morrem nas partes mais velhas da raiz, podendo, no entanto, persistirem. As raízes mais velhas, embora possam absorver água e nutrientes, desempenham papel fundamental no transporte dos assimilados pelas raízes finas mais jovens, às quais estão conectadas (RAVEN et al., 2001). O hábito de crescimento radicular determina o volume de solo ocupado pelas raízes, a densidade de raízes está associada ao grau de exploração desse solo e à capacidade de eliminação ou dominação por espécies concorrentes (GONÇALVES e MELLO, 2005).

### 2.2.1 Absorção

As raízes finas (diâmetro  $\leq 2,0$  mm) são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes para as plantas, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia. As raízes finas constituem menos 1% da biomassa total das florestas, porém sua produção anual (de raízes finas) pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das florestas (GONÇALVES e MELLO, 2005). Nas florestas, menos de 20% da biomassa total está abaixo do solo, embora mais de 50% do carbono absorvido anualmente pelas plantas pode estar alocado abaixo do solo.



Cerca de 50 a 80% das raízes são encontradas nos primeiros 30 centímetros do solo (GONÇALVES e MELLO, 2005).

### 2.2.2 Desenvolvimento das raízes

A habilidade de ocupação espacial do solo pelas raízes depende de várias características das mesmas, incluindo taxa de crescimento relativo, biomassa, densidade de pêlos radiculares e área superficial total (CASPER e JACKSON, 1997). Sistemas radiculares pivotantes geralmente penetram mais profundamente no solo que os sistemas radiculares fasciculados, estes, por sua vez, são mais superficiais, porém se aderem ao solo com maior tenacidade (RAVEN et al., 2001).

Geralmente o sistema radicular das árvores cresce por um raio duas a três vezes maior que o da copa, a não ser que existam restrições ao crescimento das raízes, contudo, as raízes finas concentram-se sob os limites da copa (ANDRADE, 1997). Sabe-se que plantas de diversos ambientes, apresentam modificações em suas raízes e desenvolvem estruturas, adaptações, associações simbióticas com fungos e bactérias, que desempenham funções essenciais à sobrevivência da espécie (MENEZES, 2002). O principal fator envolvido na distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie, porém este pode ser influenciado por outros fatores que estão ligados ao solo, tais como, fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, efeito do pH, textura, temperatura e pelas circunstâncias nas quais a espécie se desenvolve, por exemplo, competição entre árvores (GONÇALVES e MELLO, 2005).

Raízes em crescimento apresentam quatro regiões distintas: a coifa, a região meristemática, a região de alongamento celular e a região de diferenciação, no entanto, não são todas as plantas que possuem tais regiões bem definidas (ANDRADE, 1997). O crescimento máximo da raiz em comprimento é o resultado do alongamento celular (ESAU, 2002; RAVEN et al., 2001), aparentemente é um processo contínuo, que cessa apenas sob condições adversas, como a seca ou baixas temperaturas (RAVEN et al., 2001).

A extensão do sistema radicular, resultante do seu crescimento, define a eficiência da planta no aproveitamento da água e dos nutrientes nela presentes. Um importante indicador de qualidade do sistema radicular é a profundidade do mesmo, pois maior será o volume de solo explorado pela planta, na sua busca pela manutenção da produção fotossintética (LIBARDI e LIER, 1999). Segundo Magalhães e Blum

(2000), os sistemas radiculares podem ser caracterizados sob dois aspectos: o primeiro se refere ao hábito radicular, à sua arquitetura, que está relacionada à forma, direção e distribuição das raízes maiores; o segundo se refere à intensidade, que está relacionada às pequenas raízes de absorção. Kahn (1977) define como “macrorhizes” as raízes lenhosas, maiores, mais grossas que são responsáveis pela condução de solutos e pela expansão (e arquitetura) do sistema como um todo; e as “brachyrhizes” são menores, têm anatomia essencialmente primária, ausência de medula, duração transitória e atuam principalmente na absorção de bioelementos, podendo formar micorrizas.

Alterações na produção de biomassa e arquitetura radicular poderão aparecer no decorrer do tempo, em função da idade ou fase de desenvolvimento, das condições edafoclimáticas locais e das práticas de cultivo usadas, apesar de cada espécie arbórea ter uma forma radicular herdada, dependendo das suas características genéticas e do substrato aonde as raízes irão se desenvolver (ATKINSON, 1983).

Nas raízes que apresentam crescimento secundário, como as gimnospermas e dicotiledôneas, o câmbio vascular se inicia por divisões das células do procâmbio que ainda permanecem meristemáticas, nas regiões da raiz que pararam de crescer (RAVEN et al., 2001). O crescimento secundário consiste na formação de tecidos vasculares secundários a partir do câmbio e de uma periderme originada no felogênio. As divisões periclinais ocasionam um aumento em espessura das camadas pericíclicas em posição radial, promovendo assim o engrossamento das raízes. Nas raízes perenes, a atividade do câmbio vascular continua por vários anos, sendo esta estrutura originada do crescimento secundário, assemelhando-se muito com a estrutura do caule (ESAU, 2002).

Com a redução da taxa de crescimento da parte aérea, ocorre a estabilização do crescimento radicular. A senescência das raízes finas pode ser atribuída às condições estressantes, decorrentes de variações estacionais de temperatura, disponibilidade de água, perda de área foliar, alterações hormonais, entre outras. A taxa de renovação de raízes finas pode ser comparada com a das folhas, uma vez que se esperam padrões de resposta semelhantes diante dos fatores ambientais (GONÇALVES e MELLO, 2005).

### 2.3 DESENVOLVIMENTO DA RAIZ EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Vários processos metabólicos nas plantas podem ser influenciados pela baixa disponibilidade de água nos solos, promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos e limitando a perda de água e, como consequência, a fixação de CO<sub>2</sub>. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, quando abertos, permitindo a assimilação de gás carbônico. Fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação. Sendo que, à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce, como resultado do fechamento dos estômatos (GONÇALVES e MELLO, 2005).

Sabe-se que as plantas utilizam de alguns mecanismos para captar a água presente no solo. Como exemplo, a literatura relata que, o investimento em raízes finas, em plantas submetidas a estresse hídrico severo é um destes mecanismos, e pode ser interpretado como uma estratégia para maximizar a absorção radicular das partes mais superficiais do solo (WRIGHT e WESTOBY 1999).

Markesteyn e Poorter (2009) destacaram que plantas que toleram à seca fazem maior investimento no crescimento da raiz para alcançar a água subterrânea, à medida que o solo vai perdendo sua umidade, o sistema radicular vai acompanhando o percurso da água, permitindo-as adaptar o seu crescimento às épocas de baixa precipitação, e fazendo-as persistirem quando plantas vizinhas já estejam dormentes ou mortas.

Plantas que tem a habilidade de extrair água em profundidade são mais vantajosas, apresentando um maior crescimento e desenvolvimento de biomassa radicular, tornando-se muitas vezes plantas mais competitivas, conseqüentemente podendo persistir mais tempo no ambiente (GRIEU et al., 2001).

Plantas que apresentam rápido crescimento radicular, dentre outros atributos conseqüentemente apresentam aumento da capacidade competitiva (SANDERSON e ELWINGER, 2002). Plantas portadoras de elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial possuem prioridade na utilização dos recursos do meio e, por isso, geralmente levam vantagem na utilização destes (GUSTAFSON et al., 2004).

As plantas respondem de diferentes formas a fatores ambientais tais como, disponibilidade de recursos e distúrbios (ACKERLY, 2004). Desta forma, plantas lenhosas perenes devem apresentar mecanismos para suportar o período de estresse. Como exemplo, Markesteyn e Poorter (2009) destacaram que plantas que toleram à seca fazem maior investimento no crescimento da raiz para alcançar a água subterrânea.

Outra estratégia como resposta à sazonalidade é o armazenamento de água, nutrientes minerais e compostos orgânicos na raiz, até mesmo superior ao encontrado no caule (JACKSON et al., 1997, 2007).

Estudos envolvendo raízes são trabalhosos e difíceis de serem realizadas, pelo fato de normalmente envolverem escavações. Esse e outros fatores frequentemente tornam impraticável a realização de amostragens mais intensivas e completas das raízes, cuja profundidade varia de 1 a 3 m (SANQUETTA, 2002).

#### 2.4 RELAÇÃO RAIZ X PARTE AÉREA

O funcionamento de raízes e caules é, geralmente, estudado separadamente em razão das técnicas e equipamentos que diferem substancialmente, embora, sejam funcionalmente integrados (JACKSON et al., 2007). Sabe-se que a relação entre alocação de biomassa entre parte aérea e subterrânea dos diferentes ecossistemas varia substancialmente (JACKSON et al., 1997). Em florestas sazonalmente secas, existe uma tendência de as plantas alocarem maior biomassa no sistema radicular, mecanismo para suportar o período de estresse (HOLBROOK, 1995; MARKESTEIJN e POORTER, 2009).

Tal comportamento é relatado por muitos outros autores, os quais tem afirmado que os grupos funcionais de espécies arbóreas de regiões sazonalmente secas podem ser estudados com base nas respostas fenológicas das plantas aos fatores ambientais e suas características fisiológicas e estruturais, como densidade da madeira, capacidade de armazenamento de água no caule, profundidade do sistema radicular, potencial hídrico, longevidade foliar, época de brotamento e floração e duração do período sem folhas (PAVÓN e BRIONES, 2001; SINGH e KUSHWAHA, 2005). Dentre estas características, a menos estudada é a que se refere ao sistema radicular, certamente, devido à dificuldade de estudo (JACKSON et al., 1997, 2007).

O estudo de Padilla et al. (2009), que avaliou sete espécies arbustivas que ocorrem em regiões áridas do Mediterrâneo da Espanha, mostrou que as raízes de todas as espécies responderam às variações no abastecimento de água, alterando: os padrões de alocação de biomassa (ou seja, maior relação raiz-parte-aérea), os valores do diâmetro de raízes finas, e o comprimento radicular específico. Os autores mostraram ainda que houve diferenças na taxa de crescimento entre as espécies, as quais foram

significativamente ligadas às raízes de diâmetros finos e alocação de biomassa, que está relacionado à capacidade de absorção das raízes. No entanto, a taxa de crescimento relativo e características foliares, tais como área foliar específica, não mostraram diferenças, provavelmente porque secas prolongada durante longos períodos de tempo parecem ser necessárias para a restrição de crescimento nas espécies estudadas.

Outra estratégia como resposta à sazonalidade é o armazenamento de água, nutrientes minerais e compostos orgânicos na raiz, até mesmo em quantidades superiores às registradas no caule (JACKSON et al., 1997, 2007). A esse respeito, Pregitzer (2003) comentou que grande quantidade destas reservas são utilizadas durante o período de dormência da planta para respiração radicular e para iniciar a fase de crescimento, produção de brotos e raízes, imediatamente antes ou logo após o início da estação chuvosa, sendo um indicativo do uso das reservas da raiz pela planta a variação sazonal na quantidade dessas reservas. Na literatura são recomendados estudos que coordenem a parte subterrânea e a aérea, considerando a planta como um todo, uma vez que em diferentes situações a alocação de carbono pode variar e pelo fato da forma e da função da raiz serem diretamente relacionadas com a estrutura foliar, a longevidade e a fisiologia (GRUBB, 2002; PREGITZER, 2003). Neste sentido, a diferenciação de alocação de biomassa irá retratar um importante *trade off* na planta, que pode ser detectado avaliando-se separadamente as raízes e partes aéreas. Entende-se por trade-off a correlação negativa entre atributos que uma planta não pode otimizar simultaneamente (WESTOBY, 1998).

Para ocorrer o crescimento das plantas é necessária a entrada de carbono por meio da fotossíntese, que ocorre nas folhas, e da entrada de água e nutrientes através das raízes. Desta forma, estas duas portas de entrada de componentes são indispensáveis para o crescimento da planta, as quais são extremamente integradas. Entretanto, pouco se conhece sobre esta relação, visto que não existe nenhuma estimativa para o comprimento e área superficial de raízes para a metade dos biomas (JACKSON et al., 2007). Portanto, estes autores recomendam o uso dessas informações para testar suas hipóteses em grupos funcionais de determinados ambientes e até predizer consequências para mudanças globais do clima (JACKSON et al., 1997).

## 2.5 INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SOB A VEGETAÇÃO

Apesar do esforço para entender como funcionam as espécies lenhosas em formações vegetais com marcada sazonalidade climática, ainda pouco se conhece (HOLBROOK, 1995). Constitui um bom exemplo de floresta seca um clima sazonal de curta estação chuvosa, oscilando entre três e seis meses, com precipitações médias anuais variando entre 380 e 800 mm (SAMPAIO, 1995).

De acordo com Miles et al. (2006), resta cerca de 1 milhão de km<sup>2</sup> de florestas tropicais secas no mundo, sendo que mais da metade localizados na América do Sul. Neste contexto insere-se a caatinga, um tipo de vegetação predominantemente arbustiva-arbórea, que apresenta acentuada queda foliar durante a estação seca (SAMPAIO, 1995). O domínio da caatinga ocupa uma área de cerca de 750.000 km<sup>2</sup> e engloba partes dos territórios pertencentes aos estados do Nordeste brasileiro, exceto o Maranhão e, parte de Minas Gerais e Espírito Santo. Sua área corresponde a 54% da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro e constitui o chamado Polígono das Secas (ALVES et al., 2009).

A ocorrência de déficit hídrico (SANTOS e CARLESSO, 1998), e a heterogeneidade na distribuição do recurso água (PADILLA et al., 2007), pode afetar as plantas individualmente em termos de sobrevivência, crescimento, e interações bióticas, e portanto alterar a dinâmica populacional. O crescimento das plantas superiores é muito sensível às condições hídricas, e a resposta é muito mais rápida ao estabelecer situação de carência hídrica comparando-se a qualquer outro fator ambiental capaz de estabelecer situação de estresse, pois primordialmente a fase de alongamento celular depende da absorção de água (TAIZ e ZEIGER 2002; KERBAUY, 2004). Tais recursos são altamente heterogêneos em uma ampla variedade de escalas no espaço e no tempo (PADILLA et al., 2009), criando uma diversidade de ambientes, e, conseqüentemente, uma variedade de oportunidades que proporciona para diferentes espécies condições adequadas de acordo com suas especificidades (WRIGHT, 2002). A vegetação não só responde a quantidade de chuva (NOY-MEIR, 1985; REYNOLDS et al., 2004), mas também às variações no tempo (SALA e LAUENROTH, 1982; TURNER e RANDALL, 1989; LÁZARO et al., 2001.), sendo este comportamento importante no abastecimento anual de água (NOY-MEIR, 1985). Essa variabilidade ambiental tem sido considerada como uma característica de ampla ocorrência nos diferentes ambientes de ecossistemas naturais e uma das mais importantes que governam os processos

biológicos (REES et al., 2001; KUMAR et al., 2006). De tal forma que mudanças relativamente pequenas na frequência de chuvas podem ter fortes efeitos sobre algumas espécies, especialmente de indivíduos jovens de plantas anuais (SHER et al., 2004). Dentre os efeitos esperados nas espécies, a limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas em relação ao déficit hídrico (TAIZ e ZEIGER, 1991), simultaneamente ocorre significativa variação na distribuição e desenvolvimento radicular (LUDLOW e MUCHOW, 1990).

Em ambientes sazonalmente secos, pouco se conhece sobre os aspectos fenológicos de espécies lenhosas. No caso da caatinga, entretanto, trabalhos apontam diferentes padrões (BARBOSA et al., 1989; MACHADO et al., 1997; LIMA et al., 2006; LIMA e RODAL, 2010). Lima e Rodal (2010) destacaram uma estreita relação dos eventos fenológicos com a densidade de madeira, estando as fenofases diretamente relacionadas ou à precipitação ou ao fotoperíodo. A esse respeito (LIMA e RODAL, 2010), acrescentaram que plantas de caatinga com baixa densidade de madeira iniciam o brotamento no final da estação seca, entretanto, suas folhas têm menor longevidade que a das plantas com alta densidade de madeira que somente brotam quando há água disponível no solo. Aqueles autores destacaram três grupos funcionais: o primeiro composto por espécies decíduas de alta densidade de madeira, o segundo por espécies decíduas de baixa densidade de madeira e o terceiro por espécies sempre-verdes.

Cada grupo funcional apresenta um conjunto de características inter-relacionadas em função da estratégia de adaptação ao ambiente, assim como se tem registrado em diversos ecossistemas (REICH et al., 2003; WRIGHT et al., 2004; ISHIDA et al., 2008; CHAVE et al., 2009). Entretanto, pouco se conhece sobre os sistemas radiculares das espécies que compõem esses grupos e, certamente, características radiculares devem exercer importante papel no desenvolvimento e alocação de biomassa nessas plantas, portanto, sendo indispensável para o conhecimento dos grupos funcionais. Desta forma, a variação dessas características envolve correlações entre elas, devido aos inevitáveis *trade-offs*, e esta variação deve ser analisada considerando a planta como um todo (REICH et al., 1992), uma vez que o conjunto de características de táxons pode ser considerada como “estratégia de planta” (REICH et al., 2003).

## 2.6 BIOMASSA DE RAÍZES EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Segundo Sainju e Good (1993), o conhecimento da biomassa de raízes e a sua distribuição no solo é um importante aspecto que auxilia no entendimento das relações existentes entre estas, a parte aérea das plantas e as características edáficas principalmente no que se refere aos padrões de absorção de água e nutrientes por parte dos indivíduos.

A raiz é o órgão especializado para a fixação da planta no solo e para a absorção de água e sais minerais em solução, podendo ainda desempenhar as funções de reserva de substâncias, entre outras. O sistema radicular é dividido em raízes grossas e finas, pois as mesmas têm funções diferenciadas. As primeiras são responsáveis pela fixação das plantas ao solo, enquanto as raízes finas (<2 mm) têm a função de absorção (PRITCHETT, 1986).

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos fisiológicos, dentre as estratégias utilizadas pelas plantas para sobreviver ao estresse hídrico, Markesteijn e Poorter (2009) destacaram que plantas que toleram à seca fazem maior investimento no crescimento da raiz para alcançar a água subterrânea. Estas plantas, comumente, apresentam alta densidade de madeira para evitar a cavitação, alto controle na condutância estomática, tendo, portanto, baixa perda de água, folhas longevas e de baixa área foliar específica (WRIGHT et al., 2002; WRIGHT et al., 2004). Labouriau (1964), afirmou que a presença de raiz tuberosa auxilia a planta resistir a condições adversas permitindo seu crescimento em condições desfavoráveis. O investimento em raízes finas também é uma das estratégias utilizada pelas plantas para aumentar a captação destes recursos, onde o comprimento destas representam entre 90 e 95% do comprimento total do sistema radicular (GAITÁN et al., 2005).

Acredita-se que grande quantidade de biomassa de raízes finas está nas camadas da superfície como estratégia para adquirir nutrientes da camada orgânica (produzidos pela decomposição da matéria orgânica) (WRIGHT e WESTOBY 1999), sendo muito importante para florestas tropicais, onde a maioria dos solos são altamente intemperizados (LACLAU et al., 2004). Segundo Ehrenfeld et al. (1992), 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes se concentram no horizonte orgânico, das quais 50-80% são compostas por biomassa morta (VOGT et al., 1986), resultado da rápida decomposição e regeneração de raízes finas, visto que as raízes finas têm curto período de vida (menos que um ano) (RYLTER, 1997). De acordo com Green et al. (2005) a



quantificação da biomassa de raízes finas é importante para se compreender a estrutura e funcionamento dos ecossistemas, além de prever como estes respondem a perturbações.

Segundo Sanford e Cuevas (1996), há diferenças entre as florestas tropicais úmidas e decíduas quanto à distribuição de sua biomassa. Nas florestas decíduas, a maior fração de biomassa é acumulada nas raízes porque, em condições de seca, mais carbono é alocado para o sistema radicular. Algumas espécies de plantas, quando em condições de estresse hídrico, aumentam o crescimento radicular e, conseqüentemente a relação raiz/parte aérea, porém com pequena mudança na biomassa total de raízes (JOSLIN et al., 2000). Essa adaptação ajuda a planta a buscar água e nutrientes em outras camadas do solo, fatores limitados nesse período, facilitando seu desenvolvimento e diminuindo a taxa de mortalidade de raízes (HENDRICK e PREGITZER, 1993).

No trabalho de Bakker et al. (2006), apesar de a produção de biomassa de raízes finas de *Pinus pinaster* não ser significativamente diferente em locais secos e úmidos, em locais secos, a produção alcançou 1382gm<sup>2</sup>, enquanto que, no local úmido, apenas 545gm<sup>2</sup>. Konôpka et al. (2006) observaram, em *Cryptomera japonica*, uma maior produção de raízes finas decorrente de estresse pela seca. Entretanto, poucos estudos sobre a estimativa da biomassa radicular estão disponíveis na literatura (RESH et al., 2003).

## 2.7 PROPORÇÃO BIOMASSA AÉREA / BIOMASSA RADICULAR EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Existe uma grande interdependência entre a raiz e a parte aérea dos vegetais, sendo que a proporção entre estas é controlada por hormônios, cuja quantidade e o tipo podem estimular ou reprimir o desenvolvimento de ambas ou de uma destas partes (ANDRADE, 1997). A relação entre alocação de biomassa entre parte aérea e subterrânea dos diferentes ecossistemas varia substancialmente (JACKSON et al., 1997). Em florestas sazonalmente secas, existe uma tendência de as plantas alocarem maior biomassa no sistema radicular, mecanismo para suportar o período de estresse (HOLBROOK, 1995; MARKESTEIJN e POORTER, 2009).

Segundo Fernández et al. (1996), a área foliar determina o uso da água pelas plantas e a sua produção é severamente inibida sob condição de déficit hídrico. Para

Silva (2002), a redução da área foliar pode ser decorrente da redução no tamanho das folhas individualmente como também da sua produção, no que concorda com Taiz e Zeiger (1991), que afirmaram que o estresse hídrico não só limita o tamanho de folhas individuais, mas, também, o número de folhas, porque diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. Conforme McMichael e Quisenberry (1993), o déficit hídrico afeta a área foliar pelo efeito na taxa de expansão das folhas, seu número total e senescência. Essa redução que ocorre nas folhas causa menor biomassa da parte aérea quando a planta está exposta ao estresse hídrico, ocorrendo alocação de biomassa para o sistema radicular.

A proporção de biomassa de raízes em relação à parte aérea varia com a disponibilidade de água no solo dentre outros fatores (LELES, 1995; OLIVEIRA NETO, 1996). Essa alocação de biomassa para o sistema radicular implica em maior quantidade de reservas e maior absorção de água e nutrientes, especialmente quando há favorecimento para a formação de raízes finas. Alguns trabalhos como o de Figueirôa et al. (2004) encontraram, para *Myracrodruon urundeuva*, que a razão raiz/parte aérea no regime hídrico de 25% da capacidade de campo (cc) foi de 2:1, diferindo significativamente dos demais tratamentos, 50 e 75% cc, cujas razões raiz/parte aérea mantiveram-se em 1:1. A maior razão do comprimento da raiz/parte aérea no tratamento com maior déficit hídrico proporcionou maior alocação de biomassa para as raízes. Esta alocação na planta jovem não somente prioriza a absorção de água, mas também resulta em menor perda por transpiração foliar, visto que a alocação de massa para as folhas é diminuída.

Segundo Taiz e Zeiger (2002), essa explicação pode ser atribuída ao ácido abscísico (ABA) que induz o crescimento da raiz e estimula a emergência de raízes laterais, enquanto suprime o crescimento foliar. A aplicação de ABA no sistema radicular estimula os fluxos de água e de íons sugerindo que o ABA regula o turgor, não apenas pela diminuição da transpiração, mas também pelo aumento do influxo de água para as raízes (FIGUEIRÔA et al., 2004). Portanto, os efeitos do ABA sobre as raízes e as folhas causam uma redução da área foliar e um aumento da área de absorção de água das raízes, o que auxilia a planta a enfrentar as condições de seca (FIGUEIRÔA et al., 2004).

Algumas espécies de plantas, quando em condições de estresse hídrico, aumentam o crescimento radicular e, conseqüentemente a relação raiz/parte aérea, porém com pequena mudança na biomassa total de raízes (JOSLIN et al., 2000).

Para plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), a estratégia de adaptação às condições adversas da caatinga foi de manter maior alocação para a massa radicular no tratamento de 25% da capacidade de campo e formação de tuberosidade na raiz principal (FIGUEIRÔA et al., 2004). Essa tuberosidade apresenta armazenamento de água e amido, desaparecendo na fase adulta (LIMA, 1994). Esse autor encontrou essa característica em outras quatro espécies arbóreas da caatinga (PE) assim discriminadas: *Anathenantera macrocarpa*, *Amburana cearensis*, *Schinopsis brasiliensis* e *Spondias tuberosa*, e apenas esta última manteve a tuberosidade nas raízes laterais na fase adulta.

Diante do exposto é possível afirmar que existe influência da disponibilidade hídrica e suas variações tanto na biomassa de raízes como na proporção biomassa aérea / biomassa radicular nos casos estudados. O estresse hídrico nos casos avaliados levou a um aumento na biomassa radicular e redução de parte aérea.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES

Em uma pesquisa realizada por Lima e Rodal, 2010, foram encontrados os grupos funcionais fenológicos aqui descritos. Tendo como base esta informação foram selecionadas nove espécies lenhosas (LIMA e RODAL, 2010), as quais compreenderam três grupos funcionais fenológicos, cada qual com três espécies, como observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Grupos funcionais fenológicos da caatinga, decíduas de alta densidade de madeira (DADM), decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) e sempre verde (SV), e suas respectivas espécies florestais

Grupos funcionais	Nome vulgar	Nome científico
DADM	Mofumbo	<i>Combretum leprosum</i> Mart.
	Mororó	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.
	Pereiro	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.
DBDM	Mulungu	<i>Erythrina velutina</i> Willd.
	Cumarú	<i>Amburana cearensis</i> (Allemao.) A. C. Sm.
	Imbiratanha	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) A. Robyns
SV	Feijão brabo	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl
	Oiticica	<i>Licania rigida</i> Benth.
	Juazeiro	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.

Fonte: AZEVEDO (2014)

A espécie *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro), embora tenha sido considerada decídua por Lima e Rodal (2010), aqui foi tratada como uma sempre-verde, tendo em vista sua rápida troca de folhas.

#### 3.2 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

##### 3.2.1 Sementes

Para a coleta das sementes foi realizada previamente uma pesquisa na literatura no que diz respeito ao seu período de produção, sua viabilidade e germinação, que varia no decorrer do ano e entre as espécies florestais.

A partir destas informações, o processo de coleta de sementes foi iniciado em novembro de 2010, onde as sementes de espécies lenhosas que contemplam os três grupos funcionais foram coletadas em uma área pertencente à Fazenda Tamanduá, nas coordenadas 07° 00' S e 37° 23' W, localizada no município de Santa Terezinha (PB), cerca de 18 km da cidade de Patos-PB, em uma Reserva Particular do Patrimônio

Natural, RPPN Tamanduá, constituída de comunidade florestal natural e de ampla extensão territorial. A área da reserva é de 325 hectares e há cerca de trinta anos não sofre ação antrópica (ARAÚJO, 2007).

A medida que foram coletadas as sementes eram armazenadas em recipientes plásticos devidamente lacrados e identificados, em câmara fria no Laboratório de Sementes Florestais, Departamento de Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As sementes passaram por processo de beneficiamento para aumentar seu poder germinativo (Figura 1), onde nas sementes de cumarú, pereiro e mofumbo, foram retiradas as alas, nas sementes de mororó e mulungú foi realizada a escarificação mecânica com lixa n°100, onde parte do tegumento foi retirado para mais facilidade da inserção da água na semente, já para o juazeiro (Figura 1D) foi retirada a camada externa da semente com o auxílio de um martelo, tendo cuidado para não danificar a parte interna da semente, enquanto que a semente de oiticica foi retirada parte do fruto que envolve e retarda sua germinação. Em seguida foram postas para germinar em sacos de 15cm iniciando o processo de produção das mudas (Figura 2).

Figura 1 – Sementes beneficiadas, A) *Erythrina velutina* Willd (mulungú), B) *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Sm. (cumarú), C) *Licania rigida* Benth. (oiticica), D) *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro), E) *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (mororó), F) *Combretum leprosum* Mart. (mofumbo).



Fonte: AZEVEDO (2014)

Figura 2 – Plântulas de *Pseudobombax marginatum* (Imbiratanha) após dois dias de germinação.



Fonte: AZEVEDO (2014)

### 3.2.2 Solos

Na perspectiva que o intuito era simular em casa de vegetação as características ambientais do bioma caatinga, neste caso, o município escolhido para representar foi Serra Talhada – PE, onde o estudo de Lima et al. (2010) determinou grupos funcionais fenológicos aqui mencionados. O solo utilizado no experimento foi coletado na Estação Experimental Lauro Bezerra (7°59'00''S, 38°19'16''W), pertencente ao Instituto agrônômico de Pernambuco (IPA) em Serra Talhada. A coleta de solo foi realizada no mês de dezembro de 2011, em seguida conduzido até a área do experimento localizado no município de Paudalho – PE (Figura 3).

Figura 3 – Solo já coletado sendo descarregado na área experimental em Paudalho – PE.



Fonte: AZEVEDO (2014)

O solo foi condicionado em sacos de 60 kg e organizado em casa de vegetação para posterior implante das espécies.

### 3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, no período de seis meses (fevereiro à julho de 2012). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo feito o sorteio para a posição das plântulas no local do experimento. Após a emergência das primeiras folhas, que variou de 2 a 6 dias para todas as espécies, as plântulas foram transplantadas para os sacos de 60 Kg (Figura 4).

Figura 4 – Mudas sendo transplantadas para casa de vegetação.



Fonte: AZEVEDO (2014)

Após o transplante foi realizada irrigação diária por um período de 15 dias consecutivos para que houvesse adaptação das mudas, minimizando o risco de mortalidade das plântulas.

As espécies foram submetidas a dois tipos de tratamentos, um com irrigação abundante e outro com irrigação controlada, baseada em pulsos e interpulsos. O primeiro tratamento recebeu rega diariamente, por três vezes ao longo do dia (8h, 12h e às 17h), até atingir a capacidade de campo, observando se havia necessidade de mais rega por dia, uma vez que há evaporação de água do solo ao longo do dia, e é dependente da umidade relativa do ar. No segundo tratamento houve uma simulação baseada em pulsos (período consecutivos de chuva  $\geq 10\text{mm}$ ) e interpulsos (intervalo de seca ou eventos de precipitação  $< 10\text{ mm}$ ) (SCHWINNING e SALA, 2004) com base nos dados pluviométricos do município de Serra Talhada – PE. Para a obtenções destes volumes foi consultado o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para informações quanto ao volume de precipitação diária dos últimos 10 anos, excluindo os anos considerados atípicos, em seguida foi retirada a média diária e calculado o volume de água para a área do saco. Nessa análise foram excluídos os anos com muita e pouca chuva, por serem atípicos, e com base na média de distribuição dos anos “normais”, foram estabelecidos os períodos de pulsos e interpulsos conforme descrito acima.

Cada tratamento foi composto por três grupos funcionais e cada grupo contém três espécies, sendo cada espécie com cinco repetições, para cada um dos tratamentos, totalizando 90 amostras. Após seis meses, cada indivíduo foi completamente retirado do substrato para tomada das seguintes medidas: estrutura morfológica da raiz, biomassa de raiz (fina e grossa), caule e folha, profundidade do sistema radicular, área foliar específica, área da superfície de raízes finas, comprimento radicular. As técnicas utilizadas para obter esses dados estão detalhadas nos itens abaixo.

#### 3.4 ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DAS RAÍZES

As raízes foram armazenadas ainda úmidas em sacos plásticos e postas em um refrigerador a  $5^{\circ}\text{C} \pm 2$ , por até uma semana. Em seguida foram postas em uma peneira de malha fina (0,2 mm) e lavadas em água corrente, até estarem livres do solo, o qual foi removido tanto quanto possível usando um pincel macio, ou pinça fina, a partir da



superfície das raízes e entre os pelos radiculares, e posteriormente foram pesadas (CORNELISSEN et al., 2003).

### 3.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS SOBRE PROFUNDIDADE, ESTRUTURA MORFOLÓGICA DE RAIZ E BIOMASSA DE RAIZ, CAULE E FOLHA

A profundidade do sistema radicular foi determinada pelo comprimento vertical da raiz desde a superfície do solo até onde as raízes penetrarem no solo. Para a descrição morfológica da raiz foram levadas em consideração a organização da estrutura primária, secundária e terciária e a presença de túberos (CORNELISSEN et al., 2003).

As plantas foram coletadas e separadas em folhas, caules, biomassa de raízes finas ( $\leq 2\text{mm}$ ) e de raízes grossas ( $> 2\text{mm}$ ), retirando-se o solo excedente com água corrente. As partes aéreas e subterrâneas foram secas em estufa com ventilação forçada a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  localizada no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia, da UFRPE, até peso constante, e, em seguida, foi determinada a biomassa seca (CORNELISSEN et al., 2003).

### 3.6 COLETA E ANÁLISE DE DADOS SOBRE ÁREA DA SUPERFÍCIE DE RAÍZES FINAS E COMPRIMENTO RADICULAR

O comprimento de raízes foi estimado pelo método de intersecção das quadrículas descrito por Tennant (1975) (Figura 5). Para isto, as raízes foram dispostas ao acaso em uma bandeja transparente para contagem do número de intersecções, sendo estas representadas pelos pontos de cruzamento entre uma raiz e as linhas que formam as malhas ( $1 \times 1\text{cm}$ ). O valor foi aplicado na fórmula:

$$C = N \cdot L \cdot 11/14,$$

em que:

C=comprimento de raízes em cm;

N = Número de intersecções;

L=lado da malha.

Para determinação da área radicular foram consideradas as raízes finas ( $\leq 2\text{mm}$ ). Com base no diâmetro e no comprimento da raiz foi calculada a área superficial da raiz pela fórmula  $2\pi r \times$  comprimento da raiz.

Figura 5 – Raízes finas de *Cynophalla flexuosa* (Feijão - bravo) sendo medidas pelo método de intersecção das quadrículas descrito por Tennant (1975)



Fonte: AZEVEDO (2014)

### 3.7 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DE ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

A área foliar específica (AFE), que é a razão da sua área pelo peso seco da folha, foi analisada em dez folhas maduras em cinco indivíduos por espécie. A massa seca das folhas foi determinada após elas serem secas em estufa a 60°C. A área foliar foi estimada por meio do programa LAFORE (LEHSEN, 2002), após as folhas serem escaneadas (Figura 6 B). Esta análise significa a disponibilidade de área foliar em cada grama de folha (indicador de espessura foliar).

$$AFE = Af/Pf \text{ (dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}\text{)};$$

em que: Af = área da folha; Pf = peso de matéria seca da folha

Figura 6 – Práticas realizadas no desmonte do experimento, para a *Bauhinia cheilanta*  
 A) desfolhamento das plantas, B) folhas sendo scaneadas.



Fonte: AZEVEDO (2014)

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.8.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em um arranjo fatorial 3 X 2 (Grupos e tipo de irrigação), com cinco repetições, totalizando 90 parcelas experimentais. Este delineamento foi escolhido porque as condições de estudo foram bem uniformes (temperatura, iluminação, tipo de solo).

#### 3.8.2 Analise dos dados

Inicialmente, os dados coletados foram processados em uma planilha do “*Software Excel*” descrevendo nas primeiras colunas as variáveis independentes (irrigação, grupos funcionais e espécies) seguidas das variáveis dependentes (peso de biomassa úmido e peso da biomassa seco, profundidade de raízes, área foliar específica), e nas linhas suas respectivas repetições, formando assim, um banco de dados com as variáveis a serem analisadas.

Em seguida procedeu-se um *Teste de Normalidade* com o intuito de observar se as variáveis tinham uma distribuição normal e desse modo dar prosseguimento as análises de variância e nas variáveis significativas proceder aos testes entre médias.

Confirmada a normalidade dos dados das variáveis as mesmas foram submetidas a uma análise de variância através do PROC ANOVA do SAS (2009) ou, quando parcela perdida, usou-se o PROC GLM (procedure general linear model) do SAS.

Como o efeito dos fatores principais foi independente, ou seja, não houve efeito de interação, foi aplicado um teste de média nos fatores principais empregando o programa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 – GRUPOS X IRRIGAÇÃO

Após a realização da análise de variância do experimento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 3x2, foi constatado que não houve interação entre os fatores independentes (Grupo e tipo de irrigação). Por esta razão, os fatores foram analisados separadamente.

##### 4.2 – IRRIGAÇÃO

No experimento houve perda de duas espécies no grupo das sempre verdes (SV) quando submetidas ao tratamento de irrigação controlada (IC), a oiticica (*Licania rigida*) e feijão bravo (*Cynophalla flexuosa*), restando apenas o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*). Esta alta mortalidade quando há IC, mostra a sensibilidade dessas espécies a deficiência hídrica, fato já alertado por Andrade-Lima (1981), e que é confirmado quando se percebe que não houve mortalidade dessas espécies no tratamento de irrigação abundante (IA).

Os valores de biomassa de folha (BF), biomassa de caule (BC), biomassa de raiz grossa (BRG), comprimento de raiz grossa (CRG), comprimento de raiz fina (CRF) e biomassa total (BT) foram significativamente menores no tratamento com IC (Tabela 2). Isso indica que as espécies, independente dos grupos, apresentam o mesmo padrão de resposta para as variáveis acima citadas. De acordo com a literatura (LARCHER, 2004; RAVEN et al., 2001), a água é um recurso fundamental para vários processos metabólicos (fotossíntese, crescimento, etc.). Assim, vários autores têm relatado que a deficiência deste recurso, resulta em um primeiro momento no fechamento parcial ou total dos estômatos, redução na fixação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, o crescimento da planta (ZANINE e SANTOS, 2004). Confirmando a afirmação anterior, estudos de plântulas de espécies arbóreas ressaltaram a diminuição da biomassa da plântula com a restrição hídrica (PURI e SWAMY, 2001; FIGUEIRÔA et al., 2004; VILLAGRA e CAVAGNARO, 2006; NASCIMENTO et al., 2011).

É importante observar na Tabela 3, que embora a BT do tratamento IA seja até quatro vezes maior que o tratamento IC, a proporção de biomassa de raiz em função da parte aérea é mantida independente do tratamento. Desta forma, o *trade off* é mantido com ou sem água para as espécies avaliadas.

Tabela 2 – Análise de variância dos dados, incluindo todas as espécies por tipo de irrigação, de biomassa de folhas (BF), biomassa de caule (BC), biomassa de raiz grossa (BRG), comprimento da raiz grossa (CRG), biomassa de raiz fina (BRF), comprimento de raiz fina (CRF), biomassa de raiz total (BRT), biomassa aérea (BA), e biomassa total (BT) em função dos tratamentos de irrigação controlada (IC) e irrigação abundante (IA).

<b>Trat.</b>	<b>BF</b>	<b>BC</b>	<b>BRG</b>	<b>CRG</b>	<b>BRF</b>	<b>CRF</b>	<b>BRT</b>	<b>BA</b>	<b>BT</b>
<b>IC</b>	16,5 a	26,2 a	30,0 a	0,62 a	6,5 a	2,9 a	36,5 a	42,7 a	79,2 a
<b>IA</b>	44,4 b	131,6 b	139,2 b	0,92 b	7,5 a	5,2 b	146,7 b	175,1 b	321,8 b

Fonte: AZEVEDO (2014)

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A biomassa de raiz fina (BRF) foi a única variável que não diferiu entre os tipos de irrigação (Tabela 3). Todavia, quando foi analisada a relação entre BRF e BT por tratamento, observou-se que existe uma maior proporção de biomassa de raiz fina no tratamento de IC (8,43%), do que no tratamento de IA (2,32%).

Este maior investimento em raízes finas no tratamento de IC pode ser de grande importância para a sobrevivência das plantas uma vez que estão disponíveis na literatura, informações quanto ao investimento em raízes finas, em plantas submetidas a estresse hídrico severo é um mecanismo para captar a água presente no solo, e pode ser interpretado como uma estratégia para maximizar a absorção radicular das partes mais superficiais do solo (WRIGHT e WESTOBY, 1999).

Para Carimbo (2003), enquanto sob seca severa ou em ambientes com baixa disponibilidade de recursos, as plantas devem ser limitadas no crescimento e capacidade fotossintética. Pizarro e Bisigato (2010), testando diferentes regimes de água em plantas jovens, também observaram que houve redução de biomassa total com diferenças significativas quando submetidas a déficit hídrico. No mesmo trabalho, com relação à partição de biomassa, os autores concluíram que o estresse hídrico exerce um efeito significativo sobre o acúmulo de biomassa e partição de matéria seca na maioria das

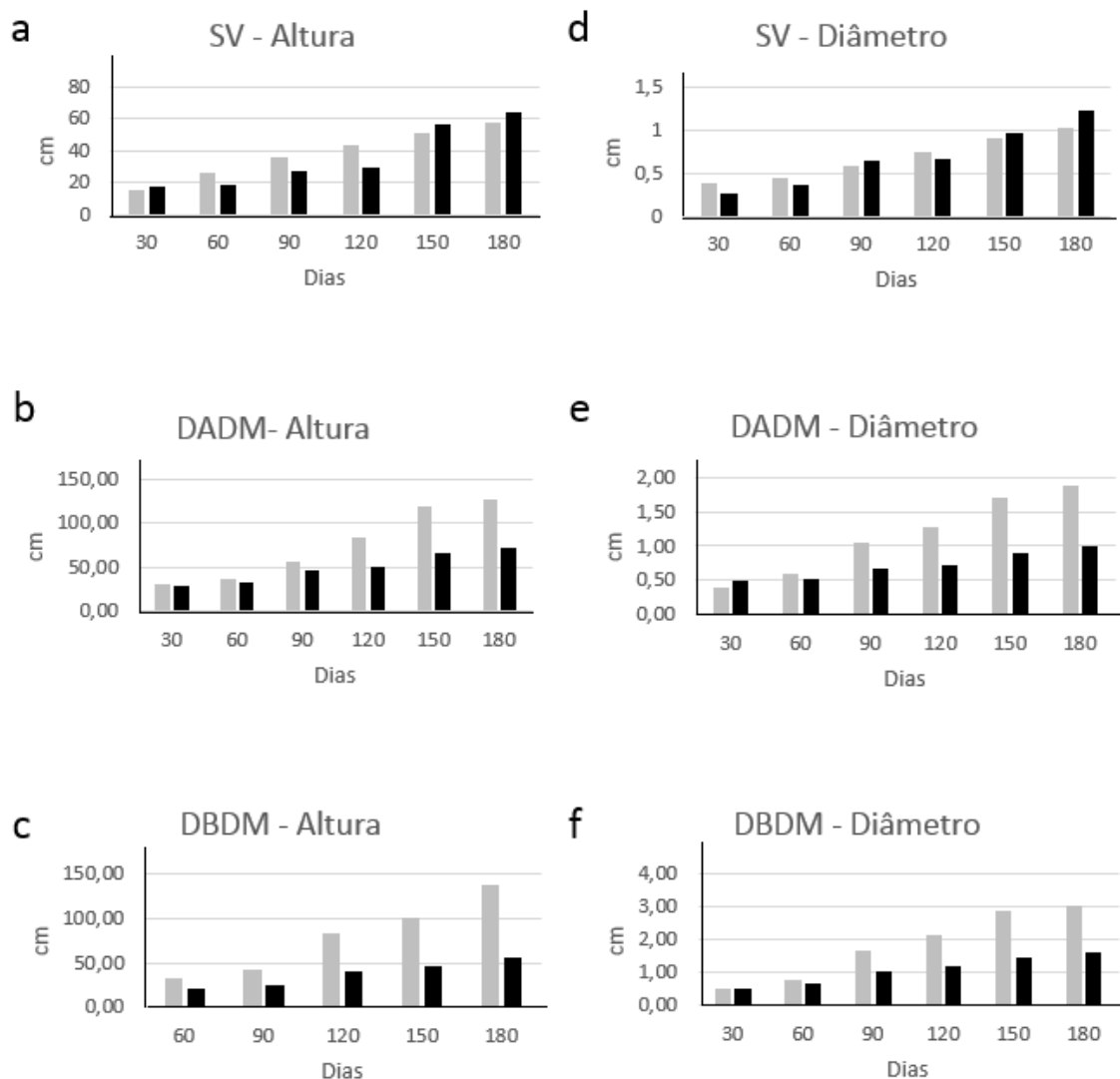
espécies de estudo. Sendo maiores valores de biomassa para raiz, e redução de biomassa de folhas. Relataram ainda que o caule não foi afetado significativamente quando submetido ao estresse hídrico. O fato da seca artificialmente imposta reduzir a biomassa total da planta em quatro das seis espécies por eles estudadas, é um resultado que mostra um efeito negativo do estresse hídrico sobre espécies de plantas da Patagônia.

#### 4.3 – GRUPOS FUNCIONAIS FENOLÓGICOS

##### 4.3.1 Crescimento das plantas nos grupos

Na Figura 8 encontra-se os valores de altura e diâmetro das plantas nos grupos das SV, DADM e DBDM referentes às coletas realizadas em 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias de experimento. O desenvolvimento das plantas foi crescente em todos os grupos, tanto em altura como em diâmetro da plântula para ambos os tratamentos (IC e IA). O grupo das SV (Figura 8 A, D) apresentou valores aproximados para os tratamentos, diferentemente das DADM (Figura 8 b, e) e DBDM (Figura 8 C, F) que tiveram um desenvolvimento superior quando submetida a irrigação abundante.

Figura 7 – Medições médias de altura e diâmetro das sempre verde (SV), decíduas de alta densidade de madeira (DADM) e decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) (irrigação controlada ■ e irrigação abundante ■).



Fonte: AZEVEDO (2014)

Em um experimento conduzido por Brenes-Arguida et al. (2013) foi encontrado que a maior sobrevivência durante a estação seca corresponde ao menor crescimento das plantas. Este resultado é semelhante ao que foi encontrado para o grupo das SV, onde ocorreu maior mortalidade no tratamento de IC aos 180 dias, que apresentou um crescimento semelhante, e até mesmo superior, ao tratamento de irrigação abundante (Figura 8 a, d).

#### 4.3.2 Biomassa de raiz total x biomassa de parte aérea

Na Tabela 3, observa-se a relação biomassa raiz x biomassa parte aérea analisadas nos grupos funcionais. A maior razão raiz: parte aérea foi constatada no grupo das DBDM (1,07), que chega a ser quase o dobro dos demais grupos, DADM (0,53) e SV (0,48). É interessante ressaltar que, o padrão de comportamento das plantas não foi modificado mediante os tipos de irrigação controlada, ou irrigação abundante, ou seja, cada grupo apresentou uma característica própria com relação a proporção de suas partes vegetais (folha, caule, raiz), que foram semelhante para ambos os tratamentos.

#### 4.3.3 Biomassa de Raiz Fina x Biomassa de folha

O grupo das DADM e das SV apresentou valores de BRF superiores estatisticamente as DBDM (Tabela 3). Para BF foi observado que os valores não diferiram entre os grupos, porém, o grupo das DBDM apresentou 8,57% de BF em função da BT, valor bastante inferior quando comparado aos demais grupos de DADM (23,98%) e SV (35,19%).

O fato dos grupos de DADM e SV terem maior biomassa de raiz fina que as DBDM pode ser explicado pelo fato daquelas manterem as folhas por um período maior de tempo que as DBDM (REICH e BORCHERT, 1984; BORCHERT, 1994; OLIVEIRA, 2013) e assim produzir mais fotossintatos para a manutenção e crescimento da biomassa de raiz fina. No caso do grupo das DBDM, que tem como estratégia a rápida perda das folhas para que haja manutenção da água no interior do caule e raiz, o não desenvolvimento das raízes finas pode estar relacionado com a manutenção da coluna d'água, evitando uma pressão negativa no interior das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004). Este comportamento, conhecido como resistência à cavitação, é um dos principais mecanismos que as plantas lenhosas de ambientes sujeitos ao estresse hídrico apresentam, visto que, a forte pressão negativa para retirar água do solo poderá romper os vasos e causar a embolia (SOBRADO, 1993; CHAVE et al., 2009).

Plantas de baixa densidade de madeira tendem a armazenar água nos seus tecidos (caule e raiz) (BORCHERT e RIVERA 2001; RIVERA et al., 2002; REICH et al., 2003). Esta condição impede grandes variações do potencial hídrico, como ocorre em plantas de alta densidade de madeira, pois suas paredes celulares não suportariam fortes pressões negativas (HACKE et al., 2001). Estas plantas com baixa densidade de



madeira apresentam vasos largos e de paredes estreitas das células condutoras do xilema (HACKE et al., 2001; REICH et al. 2003; SWENSON e ENQUIST 2007).

#### 4.3.4 Biomassa de raiz grossa X biomassa de caule

Com relação à biomassa de caule (BC), embora não tenha havido diferença significativa entre os grupos, é interessante observar, que o grupo das DBDM apresentou valor superior aos demais grupos, chegando a ser três a quatro vezes maiores. Quando avaliada a biomassa de raiz grossa, houve diferença significativa, onde as SV e DADM diferiram do grupo DBDM que apresentou valor superior. Este grupo apresentou um percentual de biomassa de raiz grossa, maior que o percentual da biomassa do caule (39%), diferente dos demais grupos que apresentaram BRG (28,67 e 23,37%) inferiores a BC (41,14 e 33,80%), das DADM e SV, respectivamente.

Alguns autores (JACKSON et al., 1997, 2007), afirmam que uma das estratégias observadas em plantas como resposta à sazonalidade é o armazenamento de água, nutrientes minerais e compostos orgânicos na raiz, até mesmo superior ao do caule como foi encontrado no grupo das DBDM. Todavia, é importante relatar que o grupo das DBDM tem uma representação minoritária em número de espécies e indivíduos na caatinga, onde predominam DADM como mostram os trabalhos de Lima e Rodal (2010) e Oliveira (2013).

O grupo das DBDM representa uma estratégia diferente dos demais grupos no que diz respeito a características morfofuncionais das raízes, podendo ser um fator indicativo deste grupo funcional o investimento em biomassa de raízes grossas (tuberosas), com capacidade de armazenar recursos. A esse respeito, Pregitzer (2003) comentou que grande quantidade destas reservas é utilizada durante o período de dormência da planta para respiração radicular e para iniciar a fase de crescimento, produção de brotos e raízes, imediatamente antes ou logo após iniciar a estação chuvosa.

Tabela 3 – Dados médio de biomassa de raiz grossa (BRG), biomassa de raiz fina (BRF), biomassa de raiz total (BRT), biomassa de folhas (BF), biomassa de caule (BC), biomassa aérea (BA), biomassa total (BT) e área foliar específica (AFE) nos grupos funcionais das decíduas de alta densidade de madeira (DADM), decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) e sempre verde (SV).

<b>Grupos</b>	<b>BRG</b> (gm)	<b>BRF</b> (gm)	<b>BRT</b> (gm)	<b>BF</b> (gm)	<b>BC</b> (gm)	<b>BA</b> (gm)	<b>BT</b> (gm)	<b>AFE</b>
<b>DADM</b>	36,11 a	7,79 a	43,90 a	30,20 a	51,81 a	82,01 a	125.93 a	2,60 a
<b>DBDM</b>	198,79 b	5,77 b	204,56 b	33,77 a	157,52 a	191,29 a	393.75 b	8,66 b
<b>SV</b>	18,94 a	7,32 a	26,26 a	27,38 a	27,39 a	54,77 a	77.794 a	4,91 a

Fonte: AZEVEDO (2014)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4.4 ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

Nas DBDM a área foliar específica (AFE) diferiu estatisticamente dos demais grupos, apresentando valor superior (Tabela 3).

Alguns autores relatam que ao contrário das espécies DBDM, as espécies com alta densidade de madeira, a exemplo das DADM e SV, tendem a apresentar menor área foliar específica, menor taxa fotossintética e conservar o recurso (nutriente) na folha (ISHIDA et al., 2008). Geralmente, apresentam folhas escleromorfas e mais longevas (WRIGHT et al., 2002), tornando-se assim, folhas mais resistentes ao ataque de herbívoros e outros danos físicos (REICH et al., 1997).

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que o estresse hídrico reduz o desenvolvimento das plantas nos diferentes grupos funcionais fenológicos. Quando submetidas ao tratamento de estresse hídrico as plantas investem em biomassa de raiz fina (BRF). As decíduas de baixa densidade de madeira (DBDM) utilizam de estratégia diferente das decíduas de alta densidade de madeira (DADM) e das SV, apresentando maior investimento em biomassa de raiz (BR) que biomassa de parte aérea (BA), além de maiores valores de biomassa total (BT) e área foliar específica (AFE).

Os grupos funcionais apresentaram diferentes comportamentos com a relação biomassa de folha x biomassa de raiz, as SV apresentaram maior biomassa de folha, diferente dos grupos das decíduas que apresentaram maior biomassa de raiz, as decíduas de baixa densidade de madeira chega a apresentar uma relação de 6:1.

## **6. APOIO**

Este trabalho teve o apoio da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) (Processo nº IBPG-0672-5.02/09).

## REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. D. Functional traits of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. **Ecological Monographs**, v. 74, p. 25-44. 2004.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caatinga**, v. 9, p. 126-135. 2009.
- ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. UFRJ, Rio de Janeiro. 182 p. 1997.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-153, 1981.
- ARAÚJO, E. L.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of brazilian caatinga - A Review Concerning the Plants, Environment and People. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 1, p. 15-28, 2007.
- ATKINSON, D. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. **Plant and Soil**, v. 71, p. 23-35. 1983.
- BAKKER, M. R.; AUGUSTO, L.; ACHAT, D. L. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. **Plant and Soil**, v.286, p.37 -51. 2006.
- BARBOSA, D. C. A.; ALVES, J. L. H.; PRAZERES, S. M. et al. Dados fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área de Caatinga (Alagoinha – PE). **Acta Botânica Brasilica**, v. 3, p. 109-117. 1989.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. **Tree Physiology**, v.21, p.213-221. 2001.
- BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, v.75, p.1437-1449. 1994.
- BORCHERT, R. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O. F. Cook. **Ecology**, v.65, p. 1065-1074. 1980.
- BRENES-ARGUIDA, T.; RODDY, A. B.; KURSAR, T. A. Plants traits in relation to the performance and distribution of woody species in wet and dry tropical forest types in Panama. **Functional Ecology**. v. 27, p. 392-402. 2013.
- CHAPOTIN, S. M.; RAZANAMEHARIZAKA, J. H.; HOLBROOK, N. M. Baobab trees (*Adansonia*) in Madagascar use stored water to flush new leaves but not to support stomatal opening before the rainy season. **New Phytologist** v.169, p. 549-559. 2006.

- CASPER, B. B.; JACKSON, B. R. Plant competition underground. **Annual Reviews Ecology and Systematic**, v. 28, p. 545-570. 1997.
- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v.12, p. 351–366. 2009.
- CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E. et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v.51, p. 335-380. 2003.
- EHRENFELD, J.; KALDOR, E.; PARMELEE, R. W. Vertical distribution of roots along a soil toposequence in the New Jersey Pinelands. **Canadian Journal of Forest Research**, v.22, p.1929-1936. 1992.
- ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. 16. ed. São Paulo: E. Blücher. p.293 2005.
- EVINER, V. T.; CHAPIN, F. S. Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystem processes. *Ann. Rev. Eco.* 2003.
- FERNANDEZ, C. J.; McINNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf área production in water – and nitrogen – stressed cotton. **Crop Science**, v.36, p.1224-1233. 1996.
- FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Miracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n.3, p.573-580. 2004.
- GAITÁN, J. J.; PENÓN, E. A.; COSTA, M. C. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación com algunas propiedades del suelo. **Ciência Florestal**, v. 15, p. 33-41. 2005.
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF. p. 221-267. 2005.
- GREEN, J. J.; DAWSON, L. A.; PROCTOR, J.; et al. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. **Plant and Soil**, v. 276, p. 23-32. 2005.
- GRIEU, P.; LUCERO, D. W.; ARDIANI, R.; EHLERINGER, J. R. The mean depth of soil water uptake by two temperate grassland species over time subjected to mild soil water deficit and competitive association. **Plant and Soil**, v. 230, p. 197– 209. 2001.
- GRUBB, P. J. Leaf form and function – towards a radical new approach. **New Phytologist**, v. 155, p. 317–320. 2002.
- GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J.; NICKRENT, D. L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**, v. 18, p. 451-457. 2004.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S.; POCKMAN, W. T.; DAVIS, S. D.; MCCULLOH, K. A. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia** v.126, p. 457–461. 2001.

HENDRICK, R.; PREGITZER, K. The dynamics of fine root length, biomass and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. **Canadian Journal of Forest Research**, v.23, p.2507-2520. 1993.

HOLBROOK, N. M.; WHITBECK, J. L.; MOONEY, H. A. Drought responses of neotropical dry forest trees. **Seasonally Dry Tropical Forests** In: S.H. BULLOCK; H.A. MOONEY e E. MEDINA. (Cambridge University Press: Cambridge, UK) p. 243-276. 1995.

ISHIDA, A.; NAKANO, T.; YAZAKI, K. et al. Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms. **Oecologia**, v. 156, p. 193–202. 2008.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, p.7362-7366. 1997.

JACKSON, R. B.; POCKMAN, W. T.; HOFFMANN, W. A. et al. Structure and function of root systems, In: PUGNAIRE, F.I., F. et al., (Eds.). **Functional Plant Ecology**, 2<sup>o</sup>ed., USA, CRC Press, p. 151-173. 2007.

JOSLIN, J. D.; WOLFE, M. H.; HANSON, P. J. Effects of altered water regimes on forest root systems. **New Phytologist**, v. 147, p. 117-129. 2000.

KAHN, F. Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale dense humide. **Candollea**, v. 32, n. 2, p. 321-358. 1977.

KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, p. 157-164.1992.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A. 2004.

KONÔPKA, B.; NOGUCHI, K.; SAKATA, T. et al. Fine root dynamics in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation throughout the growing season. **Forest Ecology and Management**, v. 225, p. 278-286. 2006.

KUMAR, R.; ROSE, C.; ALEVEN, V. et al. Evaluating the Effectiveness of Tutorial Dialogue Instruction in na Exploratory Learning Context. Proceedings of International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Pittsburgh. 2006.

LABORIAU, L. G.; VÁLIO, I. F. M.; HERINGER, E. P. Sobre o sistema reprodutivo de plantas dos cerrados. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**,v.36, n.4, p.449-464. 1964.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; M'BOU, A. T. et al. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. **Annals of Botany**, v. 93, p.249-261. 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 531 p. 2004.

LAVOREL S.; GARNIER E. Predicting changes in community composition and ecosystem function from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, v.16, p. 545-556. 2002.

LÁZARO, R.; RODRIGO, F.S.; GUTIERREZ, L. et al. Analysis of a 30-year rainfall record (1967–1997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation. **Journal of Arid Environments**, v. 48, p. 373– 395. 2001.

LEHSEN, V. Lafore – Leaf area for everyone. URL: <http://www.uni-oldenburg.de/landeco/Download/Software/Laforem/Lafore.html>. 2002.

LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. Viçosa, Dissertação de Mestrado, UFV. 133 p. 1995.

LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: WORKSHOP SOBRE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, Aracaju. Anais... Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. 300p. 1999.

LIMA, A. L. S.; ZANELLA, F.; SCHIAVINATO, M. A. et al. Nitrogenous compounds, phenolic compounds and morphological aspects of leaves: comparison of deciduous and semideciduous arboreal legumes. **Scientia Agrícola**, v. 63, p. 40-45. 2006.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p.1363- 1373. 2010.

LIMA, R. S. **Estudo morfo-anatômico do sistema radicular de cinco espécies arbóreas de uma área de caatinga do município de Alagoinha, PE**. Recife, Dissertação de Mestrado. UFRPE. 103 p. 1994.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of trits for improving crop yields in water-limited environments. **Advance in Agronomy**, v.43, p.107-153, 1990.

MACHADO, I. C. S.; BARROS, L. M.; SAMPAIO, E. V. S. B. Phenology of Caatinga at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v. 29, p. 57-68. 1997.

MAGALHÃES, L. M. S.; BLUM, W. E. H. Distribuição radicular de espécies florestais plantadas na região de Manaus, **Amazônia. Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 7, p. 93-103. 2000.



MARKESTEIJN, L.; POORTER, L. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 311 - 325. 2009.

McMICHAEL, B. L.; QUISENBERRY, J. E. The impact of the soil environment on the growth of root systems. **Environmental and Experimental Botany**, v.33, p. 53-61, 1993.

MENEZES, M. C. **Dinâmica da biomassa e dos nutrientes nas raízes em ecossistemas de floresta nativa e plantios de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 58 p. 2002.

MILES, L; NEWTON, A. C.; DEFRIES, R. S. et al. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 491-502. 2006.

NASCIMENTO, F. J. NA´ SLUND,; R. ELMGREN. 2011. Diversity of larger consumers enhances interference competition effects on smaller competitors. **Oecologia** v.166, p. 337–347. 2011.

NOY-MEIR I. Desert ecosystem structure and function. In: EVENARI M, NOY-MEIR I, GOODALL DW (Eds.) **Ecosystem of the world: Hot deserts and arid shrublands**. Elsevier, Amsterdam, v. 93, p. 93–103. 1985.

OLIVEIRA, C. C. **Influência dos caracteres funcionais na fenodinâmica de espécies lenhosas sob clima tropical sazonal**. Fortaleza, Tese de doutorado, UFC/ PPGERN. 83 p. 2013.

OLIVEIRA NETO, S. N. **Biomassa, nutrientes e relações hídricas em *Eucalyptos camaldulensis* em resposta à adubação e ao espaçamento**. Viçosa: UFV, 131p. 1996.

PADILLA, F. M.; MIRANDA, J. D.; et al. Early root growth plasticity in seedlings of three Mediterranean woody species. **Plant Soil**, v. 296, p.103–113. 2007.

PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought. **Functional Ecology**, v. 21, p. 489-495. (Article included in the Faculty of 1000 Biology database). 2007.

PAVÓN, N. P.; BRIONES, O. Phenological patterns of nine perennial plants in na intertropical semi-arid Mexican scrub. **Journal of Arid Environments**, v.49, p. 265-277. 2001.

PILLAR, V. D.; SOSINSKI Jr., E. E. An improved method for searching plant functional types by numerical analysis. **Journal of Vegetation Science**, v.14, p.323-332. 2003.

PREGITZER, K. S. Woody plants, carbon allocation and fine roots. **New Phytologist**, v. 158, p. 421–424. 2003.

PRITCHETT, W. L. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Noriega: Ed. Limusa, 643p. 1986.

PURI, S.; SWAMY, S. L. Growth and biomass production in *Azadirachta indica* seedlings in response to nutrients (N and P) and moisture stress. **Agroforestry Systems**, v.51, p.57-68. 2001.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. A composição molecular das células vegetais. In: RAVEN P.H.; EVERT R. F.; EICHHORN S.E. (Orgs.). **Biologia Vegetal**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 17-39. 2001.

REES, T. Mainstreaming gender equality in science in the European Union' Gender and Education, The Learning Region Integrating gender equality in regional economic development' **Policy and Politics**, v. 28, p. 179-19. 2001.

REICH, P. B.; WRIGHT, I. J.; CAVENDER-BARES, J. et al. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. **International Journal of Plant Sciences** 164 (3 Suppl.), v.143-164p. 2003.

REICH, P. B.; WALTERS, M. B.; ELLSWORTH, D. S. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. **Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)** v.94, p.13730–13734. 1997.

REICH, P. B.; WALTERS, M. B.; ELLSWORTH, D. S. Leaf lifespan in relation to leaf, plant and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs**, v.62, p. 365- 392. 1992.

RESH, S. C.; BATTAGLIA, M.; WORLEDGE, D. et al. Coarse root biomass for eucalypt plantations in Tasmania, Australia: sources of variation and methods for assessment. **Trees**, v.17, p.389-399. 2003.

REYNOLDS, J. F.; KEMP, P. R.; OGLE, K. et al. Modifying the 'pulse-reserve' paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. **Oecologia**, v. 142, p.194–210. 2004.

RIVERA, G.; ELLIOTT, S.; CALDAS, L. S.; et al. Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. **Trends in Ecology and Evolution**, v.16, p. 445-456. 2002.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows**. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 73 p.1997.

SAINJU, U. M.; GOOD, R. E. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pinelands forests. **Plant and Soil**, v. 150, p. 87-97. 1993.

SALA, O. E.; LAUENROTH, W. K. Small rainfall events: an ecological role in semiarid regions, **Oecologia**, v. 53, p.301-304. 1982.

SALCEDO, I.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Metrópole, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.419-441. 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 35-63. 1995.

SANDERSON, M. A.; ELWINGER, G. F. Plant density and environment effects Orchardgrass-White clover mixtures. **Crop science**. v. 42, p. 2055-2063. 2002.

SANFORD JR, R. L.; CUEVAS, E. Root growth and rhizosphere interactions in tropical forests. In: MULKEY, S. S., CHAZDON, R. L. E SMITH, A. P. (Ed.). **Tropical forest plant ecophysiology**. Chapman and Hall, New York. 1996.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. (**citar mais dois negrito**) et al. (Eds) As Florestas e o Carbono. Curitiba: UFPR. p. 119-140. 2002.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.287-294. 1998.

SCHWINNING, S; SALA, O.E. Hierarchy of response to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, p 211-220. 2004.

SHER, A. A.; GOLDBERG, D. E.; NOVOPLANSKY, A. The effect of mean and variance in resource supply on survival of annuals from Mediterranean and desert environments. **Oecologia**, v. 141, p.353-362. 2004.

SHUGART, H. H. Plant and ecosystem functional types. In: T.M. SMITH; H.H. SHUGART e F.I. WOODWARD (eds.). Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change. Cambridge: International Geosphere-Biosphere Programme Book Series. Cambridge University Press, p. 20-43.1997.

SINGH, K. P.; KUSHWAHA, C. P. Emerging paradigms of tree phenology in dry tropics. **Current Science**, v.89, p.964-975. 2005.

SOBRADO, M. A. Trade-off between water transport efficiency and leaf life-span in a tropical dry forest. **Oecologia**, v.96, p. 19-23. 1993.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. Aas's uge's guide. SAS for windows. Cary: SAS Institute, p. 46. 2009.

SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **American Journal of Botany**, v.94, p.451–459. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates. p.423-460. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Editora Artmed, 719p. 2004.

TENNANT, A. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Applied Ecology**, v. 63, p.995-1001. 1975.

TURNER, F.B.; RANDALL, D.C. Net production by shrubs and winter annuals in Southern Nevada. **Journal Arid Environments**, v. 17, p. 23–36. 1989.

VILLAGRA, P. E.; CAVAGNARO, J. B. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco*. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 390- 400. 2006.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C.; VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forests. **Advances in Ecological Research**, v.15, p.303-377. 1986.

WEIHER, E.; VAN DER WERF, A.; THOMPSON, K.; et al. Challenging Theophrastus: A Common Core List of Plant Traits for Functional Ecology. **Journal of Vegetation Science**, v.10, p. 609-620. 1999.

WESTOBY, M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. **Plant and Soil** v.199, p.213-227. 1998.

WRIGHT, I.J.; WESTOBY, M. Differences in seedling growth behavior among species: trait correlations across species, and trait shifts along nutrient compared to rainfall gradients. **Journal of Ecology**, v. 87, p. 85–97. 1999.

WRIGHT, I.; WESTOBY, M.; REICH, P.B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span. **Journal of Ecology**, v. 90, p. 534-543. 2002.

WRIGHT, I.; REICH, P.; WESTOBY, M. et al. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, v. 428, p.821-827. 2004.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas – uma revisão, **Revista FZVA**, v.11, n.1, p. 10-30. 2004.

ZAVALA, J. A.; RAVETTA, D. A. The effect of irrigation regime on biomass and resin production in *Grindelia chiloensis*. **Field Crop Research**, v.69, p.227-236. 2001.