

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE**

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**STATUS HÍDRICO DE SOLO E PLANTA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO
ASSOCIADO COM A INTERCEPTAÇÃO PLUVIAL**

LAERTE BEZERRA DE AMORIM

Orientador: Ignacio Hernán Salcedo

Co-orientador: Antonio Celso Dantas Antonino

Recife, PE

Junho, 2013

LAERTE BEZERRA DE AMORIM

**STATUS HÍDRICO DE SOLO E PLANTA EM AMBIENTE
SEMIÁRIDO ASSOCIADO COM A INTERCEPTAÇÃO PLUVIAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Área de Concentração: Aplicação de radioisótopos na agricultura e meio ambiente.

Orientador: Ignacio Hernán Salcedo

Co-orientador: Antonio Celso Dantas

Antonino

Recife, PE

Junho, 2013

STATUS HÍDRICO DE SOLO E PLANTA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO ASSOCIADO COM A INTERCEPTAÇÃO PLUVIAL

Laerte Bezerra de Amorim

APROVADA EM: 14.06.2013

ORIENTADOR: Ignacio Hernán Salcedo

CO-ORIENTADOR: Antonio Celso Dantas Antonino

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ignacio Hernán Salcedo - DEN/UFPE

Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro - DEC/UFPE

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza - DEPA/UFRPE

Prof. Dr. José Romualdo de Souza Lima - UAG/UFRPE

Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima - UAST/UFRPE

Visto e permitida a impressão

Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais Laércio Amorim e Solange Maria pela vida.

Ao meu prezado orientador, Ignacio Hernán Salcedo, pela transmissão de conhecimento e incentivo à vida acadêmica. Ao comportamento solícito e as perguntas que tanto me fizeram pensar e crescer academicamente. Meu muitíssimo obrigado.

Ao meu ‘querido’ Co-orientador, Antonio Celso Dantas Antonino, pelas prestigiosas ideias e enorme apoio ao desenvolvimento da tese, em especial as atividades realizadas no laboratório de Física do Solo, e ao constante incentivo a buscar novos desafios na vida acadêmica. Obrigado Prof. Antonino.

Ao Professor Everardo Sampaio por sempre atender, com toda sua calma, aos meus singelos questionamentos que tanto me ajudou a construção da minha vida de pós-graduando. Obrigado Prof. Everardo.

A Taís Almeida pela afetividade e, sobretudo, a paciência e compreensão aos meus estresses. Obrigado Preta.

A UFPE e ao PROTEN pela oportunidade para realização desse sonho, ser Doutor. A CAPES pelas bolsas de estudo.

A Cooperação Internacional do Semiárido (CISA) e ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) pelo apoio financeiro e logístico.

A Associação Plantas do Nordeste (APNE) em especial ao Diretor Frans Pareyn, por nos apresentar a Fazenda Pendência e nos apoiar de forma logística à realização desse estudo.

A Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A. (EMEPA), em especial a Fazenda Experimental Pendência por ter me acolhido durante os 18 meses de execução desse estudo. Aos Diretores Leonardo Torreão, seguido de Evaneusa Brito e Maria das Graças por permitirem e apoiarem a condução dos experimentos dessa tese.

Aos funcionários da Fazenda Pendência que não mediram esforços em me ajudar, em especial a Joel “veinho”, aos casais Adelson e Rosa, Bosco e Marinez e Juarez e Lourdinha. Aos amigos João Paulo Hermínio e Gustavo Garcia pelo auxílio na coleta dos dados experimentais e os momentos de descontração.

Ao amigo Emanuel Martins por ter encarado o confinamento na Fazenda Pendência e o indispensável auxílio na coleta dos dados.

Ao Pedólogo da CODEVASF Tadeu Montenegro pela indispensável ajuda na classificação do solo da área experimental.

A amiga Euzelina Inácio, hoje professora da UFPE, agradeço pelas saudosas conversas e conselhos acadêmicos.

Aos Professores, Rômulo Menezes pela disponibilidade do laboratório de Fertilidade do Solo do DEN e a Prof^a Vânia Fraga do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFPB por permitir esse estudo dentro do convênio CCA/EMEPA.

Aos Servidores do DEN do Laboratório de Fertilidade do Solo Claudenice, Gilberto, Pedro, Cássio (Física do Solo), Edvaldo e Josenildo “baixinho” que sempre desenharam suas funções com eficiência e competência.

Aos amigos do DEN Júlio, Fábio, Tiago, Kenedy, André, Emmanuel, Eric, Diego, Edevaldo, José Angelim e Neto, e as amigas Yane, Mona, Carol, Patrícia Maia, Patrícia Karla, Karina, Taciana, Jéssica, Edilândia, Eliza e Tânia.

- As “irmãs” de orientação Priscila Lima e Walane Mello, amigas que tanto “perturbei” e fui “perturbado” nas atividades acadêmicas (risos).
- Carlos Almeida (Carlitos) pelo o auxílio nas montagens dos equipamentos e na interpretação dos dados.
- Dário Primo, parceiro de estudo e amigo tão obsequioso.
- Aos bolsistas de IC Renata Taciana, Manuela Aguiar e Maycon Victor pelas indispensáveis ajudas em atividades laboratoriais.

Aos amigos do Ap. 302, Agenor, Cícero, Edivan e Michelangelo por uma excelente amizade construída nesses últimos seis anos de pós-graduação. Os bons papos científicos noturnos em que quase sempre, ou sempre, eram acompanhados de momentos de descontração.

Aos amigos Pós-graduandos da UFRPE: Eriberto, Hailson, Welka, Maria Almeida, Marise, Daniela Batista, Gustavo Hugo, Márcio Sobral, Luiz Guilherme e em especial ao compadre Rômulo e a comadre Bianca pela forte amizade.

Enfim agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse estudo. Meu obrigado.

Aos meus pais **Laercio**
de Amorim Gomes e Solange
Maria Bezerra de Amorim

Dedico

A minha amada avó **Nazaré**
Bezerra e as minhas queridas
irmãs **Lourena Amorim** e
Laíse Amorim
Ofereço

RESUMO

A precipitação pluvial é quase sempre a única fonte de abastecimento de água em zonas áridas e semiáridas tropicais e, portanto, desempenha um papel relevante na sustentabilidade dos ecossistemas. A escassez e a irregularidade da distribuição pluvial provoca sério estresse hídrico nas plantas, afetando a produção de biomassa e a perpetuação das espécies, sobretudo as menos adaptadas às condições áridas e semiáridas. Em meio a essa problemática, foram realizadas duas investigações, de fevereiro de 2011 a junho de 2012, uma que avaliou a partição das chuvas (interceptação pelas plantas e precipitação efetiva) e sua influência no armazenamento de água no solo em áreas de caatinga e de capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) e outra que avaliou o potencial hídrico do xilema (Ψ_w) na antemanhã (Ψ_{wa}) e diurno (Ψ_{wd}) do *Croton blanchetianus* (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (catingueira) e *Mimosa ophthalmocentra* (jurema-de-imbira) ao longo de diferentes estádios fenológicos, quantidades de água armazenada no solo e demandas evaporativas. As interceptações pluviais foram medidas em áreas de caatinga raleada, caatinga densa e de capim-buffel. A intensidade pluviométrica variou de 0,2 a 85 mm h⁻¹ (n=714) com 55% dos eventos chuvosos entre 0,2 e 1 mm h⁻¹. O total pluvial acumulado livre de interceptação foi de 1.060 mm, desse montante, 87% atingiram de forma direta (sem interceptação) a superfície do solo na caatinga raleada, 81% na caatinga densa, 61% no *C. ciliaris* e 40% na caatinga densa com bromélias. Esses diferentes volumes de entrada de água no solo provocaram diferentes armazenamentos de água nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de solo. A secagem da água armazenada em termos proporcionais em 0-40 cm de solo foi maior na caatinga densa (média da área com e sem bromélias), seguida da caatinga raleada e da área com *C. ciliaris*. O decréscimo mais lento da água armazenada na área de capim-buffel em relação à área de caatinga pode estar relacionado com o menor consumo de água dessa gramínea e a evaporação de água no solo, e a alta adaptação do *C. ciliaris* à escassez hídrica. As medidas de estresse hídrico das espécies da caatinga, nesse estudo mensurado pelo Ψ_w usando o método da câmara de pressão de Scholander, variaram na antemanhã de -0,10 a -2,23 MPa em *C. blanchetianus*, de -0,23 a -2,31 MPa em *P. pyramidalis* e de -0,32 a -3,65 MPa em *M. ophthalmocentra*. No período diurno o Ψ_{wd} atingiu -5,60 MPa (*M. ophthalmocentra*) e as diferenças de Ψ_w entre as espécies foram mais frequentes, sobretudo nas horas de maior demanda hídrica. O comportamento Ψ_{wd} nas três espécies foi semelhante, iniciando o dia com os valores mais altos e diminuindo gradativamente até próximo do meio dia. O Ψ_w total das espécies estudadas demonstrou forte relação com o estágio fenológico, sobretudo a presença ou ausência de folhas.

Palavras-chaves: caatinga, potencial hídrico, *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Cenchrus ciliaris*.

SOIL AND PLANT WATER STATUS IN SEMIARID ENVIRONMENT ASSOCIATED WITH RAINFALL INTERCEPT

ABSTRACT

Rainfall is often the only source of water in tropical arid and semiarid regions, therefore performance an important role in ecosystem sustainability. The rainfall scarcity and irregularity of distribution causes serious water stress in plants, affecting biomass production and species perpetuation, especially the least well adapted to arid and semi-arid conditions. Amid this problem, two investigations were conducted from February 2011 to June 2012, first we evaluated the rainfall partition (interception by plants and effective rainfall) and its influence on soil water storage in the Caatinga and buffel-grass (*Cenchrus ciliaris*). Second we assessed the xylem water potential (Ψ_w) at predawn (Ψ_{wa}) and daytime (Ψ_{wd}) *Croton blanchetianus* (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (catingueira) and *Mimosa ophthalmocentra* (jurema-de-imbira) along different growth stages, amounts of stored soil water and evaporative demands. The rainfall intercepts were measured in areas of thinned caatinga, dense caatinga and buffel grass. The rainfall intensity ranged from 0.2 to mm h⁻¹ (n = 714) with 55% of rainfall events between 0.2 and 1 mm h⁻¹. The overall cumulative rainfall intercept free was 1.060 mm, this amount, 87% achieved directly (without interception) the soil surface in thinned caatinga, 81% in dense caatinga, 61% in *C. ciliaris* and 40% in dense caatinga with bromeliads. These different water inputs volumes in soil caused different water storage at 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm of soil. The proportion water drying to 0-40 cm of soil was higher in the dense caatinga (average area with and without bromeliads), followed by dense caatinga and thinned caatinga area *C. ciliaris*. The slower decrease of stored water in buffel-grass area in relation to the caatinga area might be related with the lowest water consumption of that grass and soil water evaporation, and high adaptability of *C. ciliaris* water scarcity. The water stress measurements of caatinga species in this study measured by Ψ_w using the method of Scholander pressure chamber, in the predawn ranged from -0.10 to -2.23 MPa in *C. blanchetianus*, from -0.23 to -2.31 MPa in *P. pyramidalis* and -0.32 to -3.65 MPa in *M. ophthalmocentra*. In the daytime Ψ_{wd} reached -5.60 MPa (*M. ophthalmocentra*) and Ψ_w differences between species were more frequent, especially at times of peak water demand. The behavior Ψ_{wd} the three species was similar, starting the day with the highest values and decreasing gradually until near noon. The Ψ_w total of studied species showed strong correlation with the phenological stage, especially the leaves presence or absence.

Keywords: caatinga, water potential, *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Cenchrus ciliaris*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1. Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação, onde P é a precipitação, p a precipitação livre, I a interceptação, C a condensação, Tr a transpiração, Es evaporação do solo, Eal evaporação da água livre, g o gotejamento, ESC escoamento pelos troncos, R o escoamento superficial, ESC sub escoamento subterrâneo, If infiltração, c capilaridade, V vazão. Fonte: Oliveira et al. (2008). 18

CAPÍTULO II

Figura 2. 1 Mapa de localização da área experimental, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil..... 43

Figura 2. 2. Imagem da área experimental, pasto (esquerda) e floresta de caatinga (direita) no período de estiagem e localização dos pluviômetros (P) e dos pontos de medida do armazenamento de água no solo (AS), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil. 44

Figura 2. 3. Precipitação pluviométrica mensal e número de dias com chuvas de 2011 e de 2012. Período experimental de fevereiro de 2011 a junho de 2012. Linha com barra de erro representa a média pluviométrica de 1941-2010 na Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil..... 48

Figura 2. 4. Distribuição de frequência (n=714) da intensidade de chuva e da precipitação acumulada por classe em Soledade, PB, Brasil. Intervalos das classes de precipitação são fechados para o maior valor..... 49

Figura 2. 5. Intensidade das chuvas em 64 dias de fevereiro de 2011 a junho de 2012, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil. 49

Figura 2. 6. Porcentagem de chuva interceptada em relação a precipitação pluvial em área de pasto (a) (*Cenchrus ciliaris* L.), de caatingas raleada (b), de caatinga densa (c) e de caatinga com bromélias (d), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil..... 50

Figura 2. 7. Precipitação acumulada total livre de interceptação (PT) e efetiva (PE), na área de pasto com *Cenchrus ciliaris* (PE pasto) e na área de caatinga, raleada (PE raleada), densa (PE densa) e densa com bromélias (PE densa + bromélias) de fevereiro de 2011 a junho de 2012 em Soledade, PB, Brasil. 51

Figura 2. 8. Regressão (n=64) entre a precipitação total incidente acima do dossel e a efetiva na área de pasto (a) e de caatinga raleada (b), caatinga densa (c) e caatinga densa com bromélias (d) em Soledade, PB, Brasil. Linha tracejada representa relação de 1:1 (PT=PE). Barras indicam erro padrão da média..... 52

Figura 2. 9. Precipitação livre de interceptação (a) e média semanal do armazenamento de água no solo a cada 10 cm (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) de 19/01/2011 a 26/06/2012 em área de pasto (b), de caatinga raleada (c) e caatinga densa (d) na Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.53

Figura 2. 10. Média semanal do armazenamento de água no solo (0-10, 0-20, 0-30 e 0-40 cm) em função da precipitação pluviométrica total (PT) e da efetiva (PE) de 19/01/2011 a 26/06/2012, em área de pasto na Fazenda Pendência, Soledade, PB.54

Figura 2. 11. Média semanal do armazenamento de água no solo (0-10, 0-20, 0-30 e 0-40 cm) em função da precipitação pluviométrica total (PT) e da efetiva (PE) de 19/01/2011 a 26/06/2012, em caatinga raleada (a) e na densa (média da área com e sem bromélias) (b), Fazenda Pendência, Soledade, PB.55

Figura 2. 12. Secagem da água no solo (0-40 cm) em três estratos vegetais e em dois períodos de estiagem. a) De 26/agosto a 31/outubro de 2011 e, b) De 23/fevereiro a 28/maio de 2012, em Soledade, PB, Brasil.57

CAPÍTULO III

Figura 3. 1. Mapa de localização da área experimental, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.72

Figura 3. 2. Evolução mensal da precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (a), da temperatura e umidade relativa do ar (b) e da velocidade do vento e do déficit de pressão de vapor (DPV) de fevereiro de 2011 a junho de 2012 em Soledade, PB, Brasil.74

Figura 3. 3. Potencial hídrico total do xilema na antemanhã (Ψ_{wa}) de *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis* e *Mimosa ophthalmocentra*, e o armazenamento de água de água no solo (a). Proporção de folhas (b) e de flores (c) na copa das árvores estudadas, em Soledade, PB, Brasil. Barras indicam o erro padrão.79

Figura 3. 4. Potencial hídrico total diurno (4h40-5h00 às 17h30-18h00) de três espécies (a-f) arbustivo-arbóreas da caatinga em seis dias com armazenamento de água no solo (AS), temperatura e umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e déficit de pressão de vapor (DPV) contrastantes, em Soledade, PB, Brasil.80

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. 1. Potencial hídrico de 18 espécies da caatinga no período chuvoso e de estiagem.....27

CAPÍTULO II

Tabela 2. 1. Árvores e arbustos, em ordem de abundância, que interferiram na interceptação pluvial na área de caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.43

Tabela 2. 2. Propriedades físicas do solo em áreas de pastagem (*Cenchrus ciliaris*) e de caatinga preservada na Fazenda Pendência, Soledade, PB.46

Tabela 2. 3. Interceptação (%) das chuvas por pasto (*Cenchrus ciliaris*) e por floresta de caatinga (raleada, densa e densa com bromélias) acumuladas em 24 horas, em Soledade, PB, Brasil.....51

CAPÍTULO III

Tabela 3. 1. Características físicas e químicas do solo em área preservada da caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB.....72

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	15
Relações hídricas entre solo e planta em florestas tropicais secas	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. FLORESTA TROPICAL SECA: CARACTERÍSTICAS E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA	16
3. INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	17
3.1. Particionamento da precipitação em Floresta Tropical Seca	18
3.1.1. Caatinga	19
4. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO	20
4.1. Medidas do armazenamento de água no solo	21
5. ESTUDO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM ÁRVORES DE FLORESTAS TROPICAIS SECAS	21
5.2. Mensuração do estado hídrico da planta	23
6. ESTUDOS DAS RELAÇÕES HÍDRICAS ENTRE SOLO E PLANTA EM FLORESTAS TROPICAIS SECAS	25
7. ESPÉCIES AVALIADAS QUANTO AO POTENCIAL HÍDRICO TOTAL	27
7.1. <i>Croton blanchetianus</i> Muell. Arg.	28
7.2. <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.	28
7.3. <i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.....	29
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
9. REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO II	38
Interceptação pluvial e armazenamento de água no solo em áreas de pastagem e de caatinga no semiárido brasileiro	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1. Área experimental	42
2.2. Intensidade pluviométrica	44
2.3. Pluviômetros e Interceptômetros.....	44
2.4. Propriedades físicas do solo	46
2.5. Armazenamento de água no solo	46

2.6. Análise estatística.....	47
3. RESULTADOS	48
3.1. Distribuição pluviométrica.....	48
3.2. Intensidade pluviométrica	48
3.3. Interceptação pluviométrica e precipitação efetiva.....	49
3.4. Precipitação pluviométrica versus armazenamento de água no solo	52
4. DISCUSSÃO	57
4.1. Intensidade pluviométrica	57
4.2. Interceptação pluviométrica e precipitação efetiva.....	58
4.3. Precipitação pluviométrica versus armazenamento de água no solo	60
5. CONCLUSÕES	62
6. REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO III	67
Potencial hídrico total em três espécies lenhosas da caatinga em função dos aspectos fenológicos, da umidade do solo e da demanda atmosférica	67
RESUMO	68
ABSTRACT	69
1. INTRODUÇÃO	70
2. MATERIAL E MÉTODOS	71
2.1. Área experimental	71
2.3. Observações fenológicas	75
2.4. Determinação do potencial hídrico total em espécies arbóreas.....	75
2.5. Determinação do Armazenamento de água no solo	76
2.6. Análises estatística	77
3. RESULTADOS	77
3.1. Observações dos aspectos fenológicos.....	77
3.2. Potencial hídrico das plantas e armazenamento de água no solo.....	78
4. DISCUSSÃO	82
4.1. Potencial hídrico das plantas: diferenças entre as espécies.....	82
4.2. Variações diurnas no potencial hídrico	84
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS	88
APÊNDICES	92

APÊNDICE I	93
Histórico das precipitações pluviométricas de 1941 a 2012 da Fazenda Experimental Pendência, EMEPA, Soledade, PB, Brasil.....	93
APÊNDICE II	95
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.....	95
APÊNDICE III	97
Estação meteorológica automática e tanque classe A, pluviômetros e interceptômetros manuais instalados nas áreas experimentais.	97
APÊNDICE IV	100
Ensaio de infiltração realizados pelo método de Beerkan	100

CAPÍTULO I

Relações hídricas entre solo e planta em florestas tropicais secas

Relações hídricas entre solo e planta em florestas tropicais secas

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma síntese do atual conhecimento sobre o compartimento ‘água’ em Florestas Tropicais Secas (FTS) com inferências na interceptação pluviométrica, armazenamento de água no solo e comportamento dos potenciais hídricos do solo e das árvores em função da sazonalidade climática das FTS. O objetivo é integrar conceitos e fundamentos em uma mesma discussão, visando sua aplicação na tomada de decisão relacionada ao manejo da vegetação semiárida e ao uso do solo. Para isso, inicialmente é realizada uma abordagem geral das florestas tropicais secas destacando sua importância socioeconômica, em seguida são apresentados os processos de interceptação pluviométrica e suas interferências no estoque de água no solo, depois são discutidas as relações hídricas em árvores, com ênfase nas estratégias fisiológicas de tolerância à seca e formas de mensuração do potencial hídrico da planta e, por último, é feito o levantamento das informações sobre as três espécies predominantes da caatinga que foram objeto da pesquisa quanto ao potencial hídrico total que constituiu parte desta tese. Nesse contexto ainda são debatidos os principais estudos sobre as relações hídricas nas FTS e por fim, nas considerações finais, é destacada a importância do tema para o uso na exploração florestal.

2. FLORESTA TROPICAL SECA: CARACTERÍSTICAS E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

As florestas ocupam 31% da superfície terrestre e desse total cerca de 6% são florestas tropicais secas (FTS) (FAO, 2010). As FTS são caracterizadas, principalmente, pelo balanço hídrico anual negativo, com precipitação variando de 250 a 1600 mm ano⁻¹, distribuídas de forma irregular, com 5 a 8 meses escassos de chuvas e com temperatura média anual superior a 18 °C (FAO, 2001). As FTS mais conhecidas estão localizadas em partes da África, América Central e do Sul, México, Índia, Austrália e ilhas tropicais. É interessante destacar que ocorrem grandes diferenças ecofisiológicas entre FTS de regiões distintas; por exemplo, as do sul do México e das terras baixas bolivianas (Miles et al., 2006).

No Brasil, condições ambientais semelhantes às FTS ocorrem no bioma caatinga (Sampaio, 1995), ecossistema que abrange 826.411 km², 10% do território brasileiro (MMA, 2010), com uma flora de mais de 5000 espécies (Giulietti et al., 2006), sendo 318 catalogadas como endêmicas (Giulietti et al., 2002; Sampaio, 2010). A vegetação é predominantemente arbustivo-arbórea, marcada por espécies com comportamento caducifólio, em que o grau de deciduidade varia principalmente pelo tipo funcional da planta (Lima & Rodal, 2010) e pelo estado hídrico dos solos. As condições físicas dos solos nem sempre permitem a retenção de água por um longo período de tempo (Sampaio, 1995; Silva et al., 1993). As plantas da caatinga apresentam diversas adaptações fisiológicas às condições de estresse hídrico, sendo o estudo desses parâmetros de vital importância para o entendimento dos ecossistemas do semiárido (Trovão et al., 2007).

O semiárido brasileiro acolhe uma população de 25 milhões de pessoas (INSA, 2011), sendo aproximadamente 40% moradores da zona rural (Brasil, 2007). A fonte de sobrevivência da população rural é, em muitos casos, o extrativismo da lenha, seja para seu uso direto como confecção de cercas e carvão ou para atividades secundárias como desbravamento da área para plantio de pastagem seguido da criação extensiva de bovinos, caprinos e/ou ovinos, ou, ainda, para agricultura itinerante (desmatamento – queima – agricultura – pousio). Essas formas de exploração fizeram com que restassem 40% (Sampaio, 2010) a 45% (MMA, 2010) da vegetação nativa de caatinga, distribuída de forma fragmentada e geralmente localizada nos pontos mais inacessíveis (Sampaio, 2010). Com isso, as vegetações de caatinga que são facilmente encontradas no semiárido brasileiro são mosaicos em distintos estádios de regeneração.

3. INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Entre os componentes do ciclo da água, a precipitação (chuva) é o mais influente (Carlyle-Moses, 2004; Ferreira et al., 2008; Medeiros et al., 2009). Em áreas florestais, parte da precipitação é interceptada pelo dossel das árvores antes de atingir a superfície do solo (Figura 1). De modo geral, as florestas tropicais interceptam na copa, 4 a 25% do total precipitado e mais 1 a 2% são escoados pelos troncos (Bruijnzeel, 1990). Em alguns casos, a falta de informação sobre a interferência da vegetação pode induzir a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuem para a reposição da umidade

disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico (Oliveira et al., 2008; Medeiros et al., 2009).

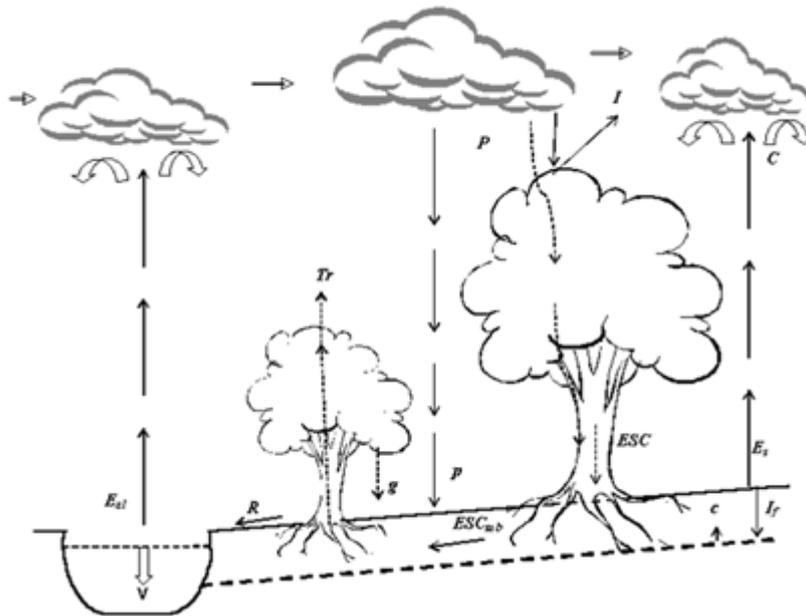


Figura 1. 1. Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação, onde P é a precipitação, p a precipitação livre, I a interceptação, C a condensação, Tr a transpiração, E_s evaporação do solo, E_{al} evaporação da água livre, g o gotejamento, ESC escoamento pelos troncos, R o escoamento superficial, ESC_{sb} subescoamento subterrâneo, If infiltração, c capilaridade, V vazão. Fonte: Oliveira et al. (2008).

3.1. Particionamento da precipitação em Floresta Tropical Seca

O particionamento das chuvas em uma floresta é influenciado por fatores meteorológicos e biológicos. Os meteorológicos são a quantidade e a intensidade das chuvas, a taxa de evaporação, a velocidade do vento e intervalos de tempo entre eventos sucessivos (Gash, 1979; Klaassen et al.1996; Crockford & Richardson, 2000; André et al., 2011). Os biológicos correspondem à estrutura do dossel, que é afetada pela arquitetura dos ramos e pela densidade das folhas e sua distribuição espacial e a textura da casca (Herwitz, 1987; André et al., 2011). No caso das espécies caducifólias, a fenofase do dossel pode ser o fator biológico que mais influencia na partição das chuvas na floresta (Návar, 1993; Gerrits et al, 2010).

Por ocasião das chuvas, parte da água atinge a superfície do solo sem interceptação do dossel e parte da água é interceptada pelas copas, escoada pelos ramos e caule, evaporada da superfície da copa e, ou, durante o escoamento (Klaassen et al., 1996; Ferreira et al., 2008) e o restante atinge a superfície do solo por gotejamento(Klaassen et al.,1996). Em ecossistemas com bromeliáceas abaixo da copa das árvores, a passagem

das gotas d'água direto para a superfície do solo pode ser praticamente impossível (Carlyle-Moses, 2004; Fleischbein et al., 2005; Cogliatti-Carvalho et al., 2010). Em termos de perdas por evaporação, a velocidade do vento foi calculada como o principal fator responsável pelas perdas de água na superfície das folhas e ramos de uma floresta estacional decídua da Holanda (Klaassen et al., 1996).

O escoamento pelo tronco pode carrear nutrientes como K, Ca, Mg, Na (Falkengren-Grerup, 1989; Návar et al., 2009), MnCu, Zn e Fe (Návar et al., 2009) para a base do caule tornando-se uma fonte pontual de entrada de solutos com possibilidade de modificações no pH (Falkengren-Grerup, 1989) e na fertilidade do solo (Návar et al., 2009). De forma semelhante acontece com o escoamento da água nas folhas das bromélias carreando nutrientes das folhas para o solo (Oliveira, 2004). Em geral, essa forma de entrada de água pelo caule representa menos de 5% da precipitação total em florestas tropicais (Khan, 1999; Oliveira et al., 2008; Moura et al., 2009; Raz-Yaseef et al., 2012). Em TDFs do México, a média está situada entre 1 (Návar, et al., 1999) e 5,1% (Návar, 1993) e na em caatinga 6% (escoamento estimado por modelagem) (Medeiros et al., 2009).

Por causas da heterogeneidade da vegetação, a redistribuição espacial da pluviosidade abaixo do dossel das árvores leva a diferenças na umidade do solo em um mesmo sítio amostral (Donovan et al., 2003) o que afeta, entre outros fatores, a taxa de decomposição da serapilheira (Jornad et al., 2008) e a distribuição das raízes finas (Návar et al., 1993).

Em chuvas convectivas, características de florestas tropicais, com precipitações intensas e de curta duração (Barbosa & Correia, 2005), a interceptação pode variar de 10 a 18% da precipitação total ocorrida (Shuttleworth, 1993) com intensidades que podem chegar a 246 mm h⁻¹ (Santos & Montenegro, 2012) no semiárido brasileiro. Intensidades de chuvas menores que 2 mm h⁻¹ interceptaram entre 70 e 90% em arbusto *Artemisia ordosica* Krasch. e *Caragana korshinskii* Kom. no deserto de Shapotou, onde a média de pluviosidade é de 225 mm ano⁻¹ e 94% das precipitações tem intensidade inferior a 5 mm h⁻¹ (Wang et al., 2005).

3.1.1. Caatinga

Em floresta de caatinga, os estudos de interceptação pluviométrica encontrados foram o de Marinho et al. (2002), Medeiros et al. (2009), Albuquerque & Costa (2012) e Izidio et al (2013). No primeiro, as perdas por interceptação das folhas, escoamento pelo

caule e evaporação na superfície das árvores somaram 42% no sertão paraibano. No segundo, a interceptação média observada foi de 19%, sendo 13% interceptados pelo dossel e 6% escoados pelo caule. Nesse mesmo estudo foi estimada a contribuição das principais variáveis que influenciaram a precipitação efetiva por meio de modelagem (Gash, 1979), tais como: a quantidade de chuva necessária para saturar a copa, 0,83 mm e para saturar o tronco, 1,12 mm; a intensidade média da precipitação após a saturação da copa foi de 8,69 mm h⁻¹ e a evaporação durante a chuva foi 1,05 mm h⁻¹ (Medeiros et al., 2009). No terceiro estudo, de Albuquerque & Costa (2012) foram avaliadas as interceptações pelo dossel de arbustos e árvores, ignorando o escoamento pelos galhos e caules, resultando em interceptações médias de 1,6% e 5,8%, respectivamente. No quarto estudo, de Izidio et al. (2013), o acumulado da precipitação foi de 833 mm e as perdas em caatinga arbóreo-arbustiva foram de 5,9% escoada pelos troncos e de 18% interceptado pelo dossel.

4. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

O conhecimento do conteúdo de água do solo é indispensável a qualquer estudo que abranja as propriedades do sistema solo-água-plantas. A umidade no solo é uma das variáveis mais importantes nos processos de troca entre o solo e a atmosfera, e de estudos na fenologia (Borchert, 1994) e relações hídricas solo-plantas (Borchert, 1994; Markesteijn et al., 2010; González-Rodríguez et al., 2011) das florestas tropicais sazonalmente secas. Também afeta a infiltração e a condutividade hidráulica (Souza et al., 2008) e por consequência a irrigação, entre outros manejos da água (Coelho et al., 2006).

A capacidade de armazenamento de água no solo é variável com o tipo de solo e a espessura da camada avaliada. Para fins agrícolas, o estoque de água no solo é definido como a diferença entre o conteúdo de água retido entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Reichardt & Timm, 2012). Geralmente assume-se que a CC corresponde a um potencial entre -33 kPa (solos mais argilosos) e -10 kPa (solos mais arenosos) e o PMP, o ponto no qual uma planta murcha e não se recupera mais, que comumente corresponde a um potencial de -1500 kPa (Reichardt & Timm, 2012).

4.1. Medidas do armazenamento de água no solo

Considerando a importância da umidade no solo, várias técnicas ou métodos foram propostos para a sua determinação, que pode ser feita direta com amostragens extrativas do solo, em que a umidade do solo é determinada de forma gravimétrica ou indiretamente, utilizando-se diferentes instrumentos como, por exemplo, a sonda de nêutrons e o reflectômetro com domínio temporal (TDR) ou de frequência (FDR).

O método gravimétrico é considerado padrão, porém, por ser destrutivo, oneroso de tempo e trabalhoso é pouco utilizado quando há amostragem de solo sistemáticas no tempo. No entanto, o uso desse método é necessário para calibração dos instrumentos que medem a umidade do solo de forma indireta.

Entre os métodos indiretos, o da reflectometria no domínio da frequência (FDR), conhecido por sonda de capacitância, é uma das técnicas que nos últimos anos tem sido amplamente empregada em vários tipos de solos e objetivos experimentais, tendo em vista a precisão e baixo risco para o operador (Silva et al., 2007), além da facilidade de manuseio e a possibilidade de monitorar vários pontos com uma única sonda. Essencialmente, a sonda é constituída de um par de eletrodos que funciona como um capacitor eletrônico; quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico (isolante) do capacitor (Andrade Júnior et al., 2007).

5. ESTUDO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM ÁRVORES DE FLORESTAS TROPICAIS SECAS

5.1. Estratégias fisiológicas das plantas para tolerância à seca

O estado hídrico das árvores é regulado por diversos fatores bióticos e abióticos (Larcher, 2004). Em FTS, a umidade do solo é considerada variável-chave para o desencadeamento das atividades ecofisiológicas (Reich & Borchert 1984; Holbrook et al., 1995; Markesteijn et al., 2010). Nesse contexto, é válido salientar que a profundidade do sistema radicular (Schenk & Jackson, 2002), a resistência à cavitação (Brodribb et al., 2003; Chave et al., 2009) e a regulação da abertura dos estômatos (Brodribb et al., 2003; Brodribb & Holbrook, 2003) são estratégias fisiológicas consideradas fundamentais para sobrevivência durante a estação seca.

O crescimento em profundidade das raízes em FTS é uma forma adaptativa para a sobrevivência durante o período de escassez hídrica e correlaciona-se positivamente com

a longevidade na estação seca (Schenk & Jackson, 2002; Querejeta et al. 2007; Hasselquist et al., 2010). Em busca de maiores informações sobre a que profundidade e de onde as raízes extraem água, alguns investigadores trabalhando em solos rasos (< 30 cm de profundidade), no semiárido Mexicano, utilizaram a abundância natural do isótopo O^{18} na água do subsolo e no xilema das árvores e verificaram que as plantas, sobretudo as sempre-verdes, podem extrair água até 3 m de profundidade durante a estação seca (Querejeta et al., 2007; Hasselquist et al., 2010). Em solos rasos (5 – 30 cm) sobre rochas calcárias e com lençol freático profundo (9-20 m), Querejeta et al., (2007) observaram que as espécie decíduas e sempre-verdes utilizam fontes de água armazenadas entre e dentro de fissuras das rochas. O esforço em extrair água do solo, principalmente em locais áridos, leva à elevada tensão hídrica nas raízes, o que muitas vezes provoca a cavitação nos vasos que conduzem água e nutrientes da raiz para a parte aérea da planta.

A cavitação é o processo no qual uma fase de vapor é introduzida na coluna de água do xilema criando embolismo (Brodribb et al., 2003) que, por sua vez, provoca quebra de continuidade no transporte de água. Como os vasos são interconectados, a água é desviada para elementos traqueais adjacentes de potencial hídrico mais negativo (Zufferey et al., 2011). O reparo dos vasos embolizados pode ocorrer à noite quando a transpiração é baixa e o potencial de pressão do xilema aumenta redissolvendo as bolhas de ar (Bucci et al., 2003; Taiz & Zeiger, 2009). O embolismo poderia ser reparado mesmo quando há transpiração e a água do xilema encontra-se sob tensão, porém esse processo ainda não está bem esclarecido (Holbrook et al., 2001; Brodersen et al., 2010; Zufferey et al., 2011). Um importante ponto a destacar é que as árvores de ambientes com restrição hídrica apresentam vasos de pequenas dimensões (Meinzer, 2003; Borchert & Pockman, 2005), o que favorece a resistência à cavitação, devido à baixa condutividade hidráulica dos vasos do xilema (Brodribb, 2009). O processo da condutividade está diretamente relacionado com a transpiração das plantas que, por sua vez, apresenta estreita relação com a regulação estomática (Tyree & Sperry, 1988). Esta estratégia de diminuir o diâmetro dos vasos xilemáticos é de suma importância para minimizar as perdas por evapotranspiração em plantas xerófilas (Brodribb et al., 2003; Silva et al., 2003). A regulação da abertura estomática é coordenada pelas células-guarda, que funcionam como válvulas hidráulicas multissensoriais, com respostas bem definidas aos fatores fisiológicos, como teor de água na folha e concentração intracelular de CO_2 (Larcher, 2004) e aos ambientais, como umidade do ar e do solo, tipo e intensidade luminosa e temperaturas extremas (Zweifel et al., 2007; Taiz & Zeiger, 2009).

5.2. Mensuração do estado hídrico da planta

A determinação das condições hídricas das plantas é comumente avaliada pela energia livre da água nas células, tecido ou órgão da planta (Turner, 1981), medida pelo potencial hídrico total (Ψ_w) da planta, descrito pela equação 1:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g \quad (1)$$

O componente mátrico (Ψ_m), apesar de existir nas plantas, não interfere significativamente no movimento da água nos tecidos vegetais (Kramer & Boyer, 1995). O gravitacional (Ψ_g) por representar somente 0,1 MPa a cada 10 m de distância vertical, torna-se desprezível. Dessa forma, o Ψ_w nas plantas pode ser expresso como a soma do $\Psi_p + \Psi_s$, correspondendo a pressão hidrostática e a concentração de solutos nas células, respectivamente. O Ψ_p pode ser positivo em virtude da pressão (positiva) que as paredes celulares exercem sobre o suco celular quando a célula está turgida, ou negativo quando há forças de tensão entre as paredes da célula, por exemplo, no xilema (Turner, 1981; Taiz & Zeiger, 2009). O potencial osmótico tem um valor sempre negativo devido à concentração de solutos nas células vegetais, sempre maior que o da solução do solo, provocando, por um processo de osmose, a ascensão capilar nos vasos do xilema (Kramer & Boyer, 1995; Larcher, 2004).

O método de referência para quantificação do Ψ_w é o psicrométrico (Boyer & Knipling, 1965). Porém, a extrema sensibilidade das medições quanto às flutuações da temperatura ambiente, faz com que esse método seja pouco utilizado (Kramer & Boyer, 1995). Por outro lado, a câmara de pressão (Scholander et al., 1965) é um método relativamente rápido e comumente utilizado em todo mundo (Turner, 1981; Borchert, 1994; Hasselquist et al., 2010; Souza et al., 2010b; Dombroski et al., 2011). Nesse método, mede-se a pressão hidrostática negativa (tensão) do xilema em folhas ou ramos inteiros. Quando não há transpiração, os potenciais de água das células da folha e do xilema entram em equilíbrio e a pressão de equilíbrio mensurada representa o Ψ_p que, por sua vez, corresponde ao Ψ_w da planta. Isso é possível porque o Ψ_s é desprezado por ser pequeno ($> -0,1$ MPa) na maioria das plantas (exceto nas que acumulam compostos orgânicos solúveis e em halófitas) quando comparado com o Ψ_p que frequentemente apresenta tensões < -1 MPa. Medições com as folhas transpirando são mais difíceis de interpretar, pelo fato da água estar fluindo do xilema para a folha, o que significa existir diferenças de potenciais de água. Quando a folha ou ramo é cortado, a tensão no xilema é

imediatamente aliviada e a água é atraída para dentro das células da folha até o potencial entrar em equilíbrio (Taiz & Zeiger, 2010), o que ocorre em aproximadamente 60 segundos (Boyer, 1967). Quando a leitura do Ψ_w da planta não é realizada no momento do corte, é necessário utilizar uma bolsa plástica antes da amostragem para guardar o órgão vegetal (folha ou ramo) em recipiente refrigerado e escuro, a fim de evitar perdas de água (Turner, 1981; Taiz & Zeiger, 2010).

A avaliação do potencial hídrico geralmente é realizada na antemanhã, minutos antes do amanhecer, horário em que habitualmente as plantas estão em equilíbrio com o Ψ_w do solo ao menos na região da rizosfera (Andrade et al., 1998; Hernández et al., 2009). Apesar desse equilíbrio não ter sido observado em algumas espécies arbóreas em regiões áridas e semiáridas (Donovan et al. 1999; 2001; 2003), elencando a transpiração noturna (Donovan et al., 1999) e as boas condições de umidade do solo (Donovan et al., 2001) como os principais responsáveis pelo o desequilíbrio do Ψ_w da planta com o potencial mátrico do solo na antemanhã (predawn).

Na antemanhã, comumente é observada a máxima diária do Ψ_w da planta (Borchert, 1994; González-Rodríguez et al., 2004; Dombroski et al., 2011). Com os primeiros raios solares, as plantas começam a transpirar, conseqüentemente o Ψ_p começa a atuar e o pico negativo do Ψ_w foliar ou caulinar é frequentemente observado no horário mais quente do dia (alta temperatura e baixa umidade relativa do ar), ou seja, em torno do meio dia. Nesse horário, a tensão hídrica da planta chega a ser, em um mesmo local e para uma mesma espécie, 10 a 100% (Borchert & Pockman, 2002; Dombroski et al., 2011) maior que o da antemanhã e de até 300% em floresta tropical seca na Bolívia (Markesteyn et al., 2010). As variações diurnas do Ψ_w do xilema são ocasionados por oscilações na temperatura e na umidade relativa do ar, na radiação solar e no vento (Donovan et al., 2003), além da própria fisiologia da planta (Brodribb, 2009) e do estágio fenológico em que ela se encontra (Borchert et al., 2002; Lima et al., 2012).

A padronização da amostragem da planta deve ser ponderada, como a parte estrutural, ramo ou folha; posição na copa, terminal ou interno, e a altura da copa (geralmente utilizado o 2/3). Estruturas menos tenras que as folhas, como os ramos, tendem a apresentar maior tensão hídrica que as folhas (Borchert, 1994), possivelmente por terem estruturas mais lignificadas e vasos xilemáticos de menor diâmetro.

Além da mensuração do estresse hídrico das plantas, pesquisadores têm avaliado outras variáveis relacionados à interação planta – atmosfera, tais como as trocas gasosas por condutância estomática (Brodribb et al., 2003; 2009; Dombroski et al., 2011), a

densidade estomática (Macková et al., 2013), a resistência estomática (Silva et al., 2003), a transpiração, (Silva et al., 2003), a assimilação líquida de CO₂ (Souza et al., 2010a) e a fluorescência da clorofila (Souza et al., 2010b). A avaliação desses atributos, aliada ao estudo das condições hídricas do solo, fornecem subsídios importantes para a compreensão do sistema solo – água – planta – atmosfera.

6. ESTUDOS DAS RELAÇÕES HÍDRICAS ENTRE SOLO E PLANTA EM FLORESTAS TROPICAIS SECAS

A compreensão das relações hídricas do sistema solo-água-planta nas FTS é de suma importância para a explicação do comportamento ecofisiológico de uma floresta, entretanto, poucos foram os estudos direcionados à interação entre a umidade do solo e o potencial hídrico das plantas em FTS (Borchert, 1994; González-Rodríguez et al., 2004; Markesteijn et al., 2010; González-Rodríguez et al., 2011). Essas pesquisas e outras de cunho isolado sobre as relações hídricas do solo (Antonino et al., 2001; Souza et al., 2008; Santos et al., 2009) ou da planta (Gebrekirstos et al., 2006; Souza et al., 2010b; Dombroski et al., 2011), despertam questionamentos, como por exemplo, o tempo que o solo contém água disponível para as plantas após a estação chuvosa. Em uma tentativa de responder essa e outras perguntas, Schenk & Jackson (2005), em florestas tropicais sazonais, compararam a quantidade excedente de água durante a estação chuvosa com a demanda evaporativa durante a estação seca, verificando que a água armazenada no solo pode suprir de 1 a 6 meses a transpiração das plantas durante o período de estiagem, sendo a textura do solo e a profundidade do sistema radicular os principais responsáveis para esse tempo de suprimento. Dependendo do armazenamento de água no solo, algumas espécies de árvores podem acelerar ou retardar a queda foliar. O armazenamento pode também influenciar na predominância de um tipo fenológico das árvores, ou seja, decíduas ou sempre-verdes (Querejeta et al., 2007; Murata et al., 2009). Nesse sentido, há necessidade de investigações que associem o armazenamento e as condições hídricas das plantas em florestas secas, uma vez que as pesquisas têm se limitado a avaliar de forma isolada esses dois componentes do sistema solo-água-planta.

Tendo em vista que características como o tipo fenológico e a densidade da madeira estão entre os principais responsáveis pelas diferenças internas da tensão hídrica entre as espécies dentro de um mesmo ecossistema (Borchert, 1994; Borchert & Pockman, 2005;

Lima et al., 2012), Borchert (1994), por meio de observações fenológicas e ecofisiológicas, sugeriu que os estudos das relações hídricas em FTS fossem realizados separando as árvores por grupos funcionais, considerando a longevidade foliar (decídua ou sempre-verdes) e a densidade da madeira.

A partir dos grupos funcionais sugeridos por Borchert (1994); Borchert et al. (2002) em um aprimoramento, incorporaram os eventos meteorológicos e propuseram quatro tipos de grupos funcionais: 1) espécies decíduas; 2) espécies que mudam as folhas; 3) espécies decíduas que ficam um breve período sem folhas e 4) espécies decíduas de caule suculento. Baseados nos critérios propostos anteriores, Lima & Rodal (2010) propuseram separar as árvores da caatinga em três tipos funcionais: 1) decíduas de baixa densidade de madeira ($< 0,5 \text{ g cm}^{-3}$); 2) decíduas de alta densidade de madeira ($\geq 0,5 \text{ g cm}^{-3}$); e 3) sempre-verdes (espécies que mantém as folhas em ambas as estações, seca e chuvosa). Em suma, a longevidade foliar e a densidade da madeira, parecem ser os critérios mais importantes para a distinção de grupos fenológicos utilizados nas avaliações do potencial hídrico nas plantas (Borchert, 1994; Borchert et al., 2002; Valdez-Hernández et al., 2010; Kushwaha et al., 2011; Lima et al., 2012).

Em estudos com Ψ_w das FTS do México, usando os quatro grupos fenológicos, Borchert et al. (2002) observaram semelhanças entre as espécies de um mesmo grupo e diferenças de até 10 vezes entre o grupo das espécies decíduas (- 5 MPa) e das de caule suculento (-0,5 MPa). Quando avaliado o Ψ_w em relação a densidade da madeira, foi observada correlação negativa (Borchert et al., 2002; Valdez-Hernández et al., 2010). Seguindo a mesma tendência, a densidade da madeira também se correlacionou de forma negativa com a eficiência do uso da água (razão entre assimilação de CO_2 e transpiração de H_2O) e com o conteúdo de água, em ramos e em raízes (Pineda-García, et al., 2011). Este fato evidencia um *trade-off* (plantas que podem investir mais em um determinado atributo em detrimento de outro) entre a densidade da madeira e a capacidade de estocagem de água em espécies caducifólias.

Em caatinga, devido à predominância de espécies caducifólias, a determinação do Ψ_w em árvores é preferivelmente realizado com ramos (Trovão et al., 2004; Trovão et al., 2007; Dombroski et al., 2011). Nesse ambiente, estudos dessa natureza são incipientes e as poucas pesquisas que determinaram o potencial hídrico do xilema em árvores, estão compiladas na tabela 1. A amplitude encontrada entre 18 espécies avaliadas foi de -0,03 a -1,03 MPa durante o período chuvoso e de -0,32 a -3,60 MPa na estação seca. A grande

variação dessas tensões evidencia a necessidade de separar as espécies da caatinga por grupos fenológicos, como os propostos por Lima & Rodal (2010) e Lima et al. (2012).

Tabela 1. 1. Potencial hídrico de 18 espécies da caatinga no período chuvoso e de estiagem.

Espécie	Nome popular	Potencial hídrico (- MPa)			
		Chuvoso	fonte	Seco	fonte
<i>Amburana cearensis</i> Allem	umburana	0,20	<i>a</i>	0,98	<i>A</i>
<i>Anadenanthera colubrina</i> Vell.	angico	0,25	<i>a</i>	0,37	<i>A</i>
<i>Auxemma oncocalyx</i> (Allemão) Taub.	pau-branco	-		2,60	<i>B</i>
<i>Bumelia sartorum</i> Mart.	quixabeira	0,50 - 0,57	<i>c; a</i>	2,00 - 2,20	<i>c; a</i>
<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart ex. Tul.	pau-ferro	0,41	<i>a</i>	0,53 - 0,90	<i>a; b</i>
<i>Poincianella pyramidalis</i> Tul.	catingueira	0,23	<i>d</i>	0,89 - 2,25	<i>b; d</i>
<i>Calliandra spinosa</i> Ducke	umari-bravo	-		1,30	<i>b</i>
<i>Capparis cynophallophora</i> L.	feijão-bravo	-		0,57 - 1,08	<i>a</i>
<i>Commiphora leptophloeos</i> Mart.	umburana-de-cambão	0,35	<i>a</i>	1,49	<i>a</i>
<i>Croton blanchetianus</i> Muell. Arg.	marmeleiro	0,10	<i>d</i>	0,64	<i>d</i>
<i>Maytenus rigida</i> Mart.	bom-nome	1,03	<i>a</i>	1,42	<i>a</i>
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	sabiá	-	<i>b</i>	2,80	<i>b</i>
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart.	Jurema-de-imbira	0,32	<i>d</i>	1,29	<i>d</i>
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allem	Aroeira	0,20 - 0,27	<i>c; a</i>	0,32 - 0,60	<i>c; a</i>
<i>Pseudobombax</i> sp	Embiruçu	0,03 - 0,23	<i>c; a</i>	0,60 - 0,67	<i>c; a</i>
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	0,40 - 0,46	<i>c; a</i>	1,00 - 1,04	<i>c; a</i>
<i>Tabebuia caraiba</i> Mart.	ipê-amarelo	-		0,50	<i>b</i>
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart	Juá	0,40 - 0,43	<i>c; a</i>	0,70 - 0,70	<i>c; a</i>

^a Trovão et al., 2007 (horário da avaliação 10h00); ^b Dombroski et al., 2011 (05h00); ^c Trovão et al., 2004 (10h00); ^d Amorim (esse estudo) (05h00).

7. ESPÉCIES AVALIADAS QUANTO AO POTENCIAL HÍDRICO TOTAL

A vegetação investigada é uma caatinga, floresta seca tropical, com 5.500 indivíduos por hectare, dividido em 12 espécies arbustivo-arbórea, sendo o *Croton blanchetianus* Muell. Arg. (marmeleiro) o arbusto e a *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. (catingueira) e *Mimosa ophthalmocentra* Benth (jurema-de-imbira) as árvores, predominantes em ordem de abundância (Florentino, 2012). As duas últimas são endêmicas à caatinga (Giulietti et al., 2002) e todas 12 espécies são de tipo funcional C3.

7.1. *Croton blanchetianus* Muell. Arg.

Popularmente conhecido como marmeleiro, o *C. blanchetianus*, sinônimo do *Croton sonderianus* Muell. Arg. (Araújo et al., 2010; Lima & Rodal, 2010) é um arbusto ou árvore pequena da família Euphorbiaceae, subfamília Crotonoideae, com altura entre 3 e 7 m e diâmetro na base do tronco de até 15 cm, de fácil regeneração (BRAGA, 1976). É uma planta tolerante à sombra e pouco exigente quanto a solo, abundante no semiárido do Brasil (Tertuliano et al. 2003). A madeira apresenta densidade de 0,63 (Tertuliano et al. 2003) a 0,88 g cm⁻³ (Sampaio et al., 2010b) e é comumente utilizada para estacas, varas e carvão. As folhas adultas medem de 10 a 14 cm de comprimento por 5 a 7 cm de largura na parte mais inferior, com pecíolo de 4 a 5 vezes mais curto que o limbo (Silveira, 1979).

O *C. blanchetianus* rebrota vigorosamente nas primeiras chuvas e tem floração, frutificação e queda dos frutos em plena estação chuvosa. Ao início da estação seca começa a queda das folhas, em geral, é umas das primeiras espécies a perder todas as folhas (Maia, 2004).

7.2. *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P.

A *P. pyramidalis*, sinônimo de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Lewis, 2013) é conhecida popularmente como catingueira. Utilizada pelas comunidades rurais do semiárido brasileiro como lenha, carvão, estacas e mourões. Árvore da família Fabaceae, anteriormente Leguminosae e subfamília Caesalpinioideae, apresenta hábito arbóreo de porte médio com 4 a 6 m de altura, podendo atingir até 12 m (Maia, 2004). A madeira é branco-amarelada com cerne escuro de densidade (madeira seca) entre 0,94 (Silva et al., 2009) e 1,02 g cm⁻³ (Sampaio et al., 2010b) contendo grandes quantidades de celulose e lignina.

As folhas da catingueira são bipinadas com 5 a 11 folíolos alternos ou opostos, coriáceas com 1 a 3 cm as folhas de ramos adultos e menos de 1 cm em folhas de rebroto (Maia, 2004). A *P. pyramidalis* começa a perder as folhas no início da estação seca com abscisão total, geralmente, no final do período de estiagem. É uma das primeiras espécies da caatinga a rebrotar com o início das chuvas (Silva et al., 2009). Em geral a floração ocorre no período das chuvas, podendo haver uma segunda floração no ano a depender das chuvas esporádicas (Barbosa et al., 1989; Maia, 2004).

7.3. *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth

Conhecida popularmente por jurema-de-imbira, a *M. ophthalmocentra* pertencente a família Mimosaceae, subfamília Mimosoideae. Suas folhas e legumes são consumidas por caprinos, ovinos e bovinos, enquanto a madeira é utilizada como lenha e estacas (Silva et al., 2011). É um arbusto de 3 a 6 m de altura, de caule rugoso com espinhos retos, folhas bipinadas com dois a quatro pares de pinas e 15 a 22 pares de folíolos por pina, inflorescência em forma de espiga, flores brancas a creme e frutos secos do tipo legume (Silva et al., 2011). A densidade da madeira de tronco e de galhos apresenta uma variação entre 0,95 (Silva et al., 2011) e 1,07 g cm⁻³ (Sampaio et al., 2010b).

A *M. ophthalmocentra* tem característica decídua com queda das folhas durante a estação seca, chegando a ficar de 1 a 4 meses sem folhas. A rebrota foliar ocorre com as primeiras chuvas, podendo haver queda e rebrota de folhas em um mesmo período. O florescimento é anual, no período chuvoso (Lima & Rodal, 2010; Lima et al., 2012).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das relações hídricas fornece subsídios essenciais para o esclarecimento de diversos fatores de ordem edáfica, fisiológica e ambiental nos ecossistemas. No caso das Florestas Tropicais Secas, as informações são escassas e fragmentadas, uma vez que raramente a dinâmica da água no solo e na planta são estudadas simultaneamente dentro de um mesmo sítio amostral. A carência dessas informações, aliada ao pouco conhecimento sobre a fenologia das árvores, sobretudo na caatinga, abre um vasto leque de opções para futuras pesquisas. A compreensão do sistema solo-água-planta traz benefícios para o manejo florestal, dado que as informações sobre a dinâmica da água no solo e na planta auxiliam o entendimento dos processos de regeneração e incremento de biomassa aérea e subterrânea. No caso específico das árvores com caráter caducifólio o conhecimento da disponibilidade hídrica do solo (armazenamento de água, potencial hídrico total e umidade) e do potencial hídrico das plantas é indispensável para a compreensão dos eventos fenológicos. Assim, fica clara a necessidade de pesquisas direcionadas para o ambiente da caatinga que procurem abordar, de forma conjunta, parâmetros e variáveis relacionadas ao solo, planta, água e atmosfera, para que os processos desencadeados nesses sistemas sejam melhor compreendidos.

9. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F.N.B. & COSTA, J.S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de caatinga (Coreaú, CE). **Geografia Ensino & Pesquisa**, 16 (3): 63-75, 2012.

ANDRADE, J.L.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N.M.; CAVELIER, J.; JACKSON, D.; SILVERA, K. Regulation of the water flux throughout trunks, branches and leaves in trees of a lowland tropical forest. **Oecologia**, 115: 463–471, 1998.

ANDRÉ, F.; JONARD, M.; JONARD, F.; PONETTE, Q. Spatial and temporal patterns of throughfall volume in a deciduous mixed-species stand. **Journal of Hydrology**, 400: 244 -254, 2011.

ANTONINO, A.C.D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SOUZA, E.S.; NETTO, A.M.; CARNEIRO, C.J.G.; MONTENEGRO, A.A.A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5 (2): 247-253, 2001.

ARAÚJO, L.A.; MARTINS, F.R.; SANTOS, F.A.M. **Estádios ontogenéticos e variações no crescimento anual do caule de duas espécies lenhosas em uma área de vegetação de caatinga, Pernambuco, Brasil**. In. Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos. Eds. ALBUQUERQUE, U.P.; MOURA, A.N.; ARAÚJO, E.L., 2010. 387-410pp.

BARBOSA, D.C.A.; ALVES, J.L.H.; PRAZERES, S.M.; PAIVA, A.M.A. Dados fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área de caatinga (Alagoinha-PE). **Acta Botanica Brasilica**, 3(2): 109 -117, 1989.

BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, 75: 1437-1449, 1994.

BORCHERT, R. & POCKMAN, W.T. Water storage capacitance and xylem tension in isolated branches of temperate and tropical trees. **Tree Physiology**, 25: 457–466, 2005.

BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica**, 34:27-39, 2002.

BOYER, J.S. & KNIPLING, E.B. Isopiestic technique for measuring leaf water potentials with a thermocouple psychrometer. **Proceedings of The National Academy of Sciences, USA** 54:1044-1051, 1965.

BOYER, J.S. Matric potential of leaves. **Plant Physiology**, 42: (2) 213-217, 1967.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará**. 3 ed. Fortaleza: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1976.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Câmara dos Deputados. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Estudo. Brasília, DF, nov. 2007. p.24.

BRODERSEN, C.R.; McELRONE, A.J.; CHOAT, B.; MATTHEWS, M.A.; SHACKEL, K.A. The dynamics of embolism repair in xylem: in vivo visualizations using high resolution computed tomography. **Plant Physiology**, 154: 1088–1095, 2010.

BRODRIBB, T.J. Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity. **Plant Science**, 177: 245–251, 2009.

BRODRIBB, T.J.; HOLBROOK, N.M.; EDWARDS, E.J.; GUTIERREZ, M.V. Relations between stomatal closure, leaf turgor and xylem vulnerability in eight tropical dry forest trees. **Plant, Cell & Environment**, 26: 443–450, 2003.

BRUIJNZEEL, L. A. **The hydrological cycle in moist tropical forest**. In: Bruijnzeel, L. A. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam: IAHS. 1990. p. 5-38.

BUCCI, S.J.; SCHOLZ, F.G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C. Dynamic diurnal changes in hydraulic specific conductivity in petiole of two savanna tree species: identifying factors and mechanisms contributing to the refilling of embolized vessels. **Plant Cell Environmental**, 26:1633-1645, 2003.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S.L.; SWENSON, N.G. & ZANNE, A.E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, 12: 351–366, 2009.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; ROCHA-PESSÔA, T.C.; NUNES-FREITAS, A.F.; ROCHA, C.F.D. Volume de água armazenado no tanque de bromélias, em restingas da costa brasileira. **Acta Botanica Brasilica**, 24(1): 84-95, 2010.

CROCKFORD, R.H. & RICHARDSON, D.P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, 14: 2903 -2920, 2000.

DOMBROSKI, J.L.D.; PRAXEDES, S.C.; DE FREITAS, R.M.O.; PONTES, F.M. Water relations of caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, 77: 430 – 434, 2011.

DONOVAN, L.A.; GRISÉ, D.J.; WEST, J.B; PAPPERT, R.A.; ALDER, N.N.; RICHARDS, J.H. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. **Oecologia**, 120:209–217, 1999.

DONOVAN, L.A.; LINTON, M.J.; RICHARDS, J.H. Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. **Oecologia** 129: 328–335, 2001.

DONOVAN, L.A.; RICHARDS, J.H.; LINTON, M.J. Magnitude and mechanisms of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. **Ecology**, 84: 463 – 470, 2003.

FALKENGREN-GRERUP, U. Effect of stemflow on beech forest soils and vegetation in southern Sweden. **Journal of Applied Ecology**, 26: 341–352, 1989.

FAO. 2001. **Global forest resources assessment 2000** – main report. FAO Forestry Paper No. 140. Rome, Italy. (Disponível em: www.fao.org/forestry/site/7949/en/). Acesso em: 05 out. 2011.

FAO. 2010. **Global forest resources assessment 2010** - main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome, Italy. (Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>). Acesso em: 05 out. 2011.

FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; DALLAROSA, R.L.G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, 35: 55 - 62, 2005.

FLEISCHBEIN, K.; WILCKE, W.; GOLLER, R.; BOY, J.; VALAREZO, C.; ZECH, W.; KNOBLICH, K. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. **Hydrological Processes**, 19: 1355 – 1371, 2005.

FLORENTINO, A.L. **Avaliação do comportamento florístico e estrutural de Indivíduos regenerantes e adultos após 7 anos com Corte raso em uma área de caatinga no estado da Paraíba**. 2012. 27f. (Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Florestal) ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

GASH, J. H. C. An analytical model of rainfall interception by forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 105 (443): 43-55, 1979.

GEBREKIRSTOS, A.; TEKETAY, D.; FETENE, M.; MITLÖHNER, R. Adaptation of five co-occurring tree and shrub species to water stress and its implication in restoration of degraded lands. **Forest Ecology and Management**, 229: 259 - 267, 2006.

GERRITS, A.M.J.; PFISTER, L.; SAVENIJE, H.H.G. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. **Hydrological Processes**, 24: 3011–3025, 2010.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; BARBOSA, M.R.V.; BOCAGENA, A.L. & FIGUEIREDO, M.A. **Plantas endêmicas da caatinga**. In: Vegetação e flora das caatingas (SAMPAIO, E.V.S.B., A.M. GIULIETTI, J. VIRGÍNIO & C.F.L. GAMARRA-ROJAS, ed.). APNE / CNIP, Recife, PE. 2002. p.103-115

GIULIETTI, A.M.; QUEIROZ, L.P. Instituto do Milênio do Semiárido. In: GIULIETTI, A.M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L.P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro**. Recife: APNE, 2006, 488p.

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ H.; CANTÚ-SILVA, I.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G.; GÓMEZ-MEZA, M.V.; SARQUIS-RAMÍREZ, J.; CORIA-GIL, N.; CERVANTES-MONTOYA, J.R.; MAITI, R.K. Xylem water potentials of native shrubs from northeastern Mexico. **Acta Agriculturae Scandinavica (Soil and Plant Science)** 61: 214-219, 2011 (b).

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; CANTÚ, I.; GÓMEZ-MEZA, S.; M.V.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. **Journal of Arid Environments**, 58, 483 - 503, 2004.

HASSELQUIST, N.J.; ALLEN, M.F; SANTIAGO, L.S. Water relations of evergreen and drought-deciduous trees along a seasonally dry tropical forest chronosequence. **Oecologia**, 164: 881–890, 2010.

HERNÁNDEZ, E.I.; VILAGROSA, A.; LUIS, V.C.; LORCA, M.; CHIRINO, E.; VALLEJO, V.R. Root hydraulic conductance, gas exchange and leaf water potential in seedlings of *Pistacia lenticus* L. and *Quercus suber* L. grown under different fertilization and light regimes. **Environmental and Experimental Botany**, 67: 269–276, 2009.

HERWITZ, S.R. Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation. **Earth Surface Processes and Landforms**, 12: 425–432, 1987.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; PEREZ-MARIN, A.M. (Eds.) Campina Grande, 2011. 209p.

JONARD, M.; ANDRÉ, F.; PONETTE, Q. Tree species mediated effects on leaf litter dynamics in pure and mixed stands of oak and beech. **Canadian Journal of Forest Research**, 38: 528–538, 2008.

KHAN, M.A. Water balance and hydrochemistry of precipitation components in forested ecosystems in the arid zone of Rajasthan, India. **Hydrological Sciences Journal**, 44 (2): 149-161, 1999.

KLAASSEN, W.; LANKREIJER, H.J.M.; VEEN, A.W.L. Rainfall interception near a forest edge. **Journal of Hydrology**, 185: 349–361, 1996.

KRAMER, P.J. & BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. 495p.

KUSHWAHA, C.P.; TRIPATHI, S.K.; SINGH, K.P. Tree specific traits affect flowering time in Indian dry tropical forest. **Plant Ecology**, 212: 985–998, 2011.

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

LEWIS, G.P. 2013. *Poincianella* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB109818>).

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**, 74: 1363 - 1373, 2010.

LIMA, A.L.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CASTRO, C.C.; RODAL, M.J.N.; ANTONINO, A.C.D.; MELO, A.L. Do the phenology and functional stem attributes of woody species

allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**, 26:1605–1616, 2012.

MACKOVÁ, J.; VASKOVÁ, M.; MACEK, P.; HRONKOVÁ, M.; SCHREIBER, L.; SANTRUCEK, J. Plant response to drought stress simulated by ABA application: Changes in chemical composition of cuticular waxes. **Environmental and Experimental Botany**, 86: 70 - 75, 2013.

MAIA, G.N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica, Leitura & Arte, 2004, 413p.

MARINHO, L. S.; SILANS, A. M. B. P.; BARBOSA, F. A. R. Interceptação da chuva pela vegetação de caatinga. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: UFAL, 2002.

MARKESTEIJN, L.; IRAIPI, J.; BONGERS, F.; POORTER, L. Seasonal variation in soil and plant water potentials in a Bolivian tropical moist and dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, 26: 497– 508, 2010.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; PAZ, H.; SACK, L.; BONGERS, F. Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits **Plant, Cell and Environment**, 34: 137–148, 2011.

MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, 40 (2): 165-174, 2009.

MEINZER, F.C. Functional convergence in plant responses to the environment. **Oecologia**, 134: 1-11, 2003.

MILES, L; NEWTON, A.C.; DeFRIES, R.S.; RAVILIOUS, C.; MAY, I.; BLYTH, S.; VALERIE KAPOS, V.; GORDON. J.E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, 33: 491-502, 2006.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite Acordo de Cooperação Técnica MMA/IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Monitoramento do Bioma Caatinga 2002 a 2008**. Relatório Técnico: Brasília, 2010.

MOURA, A.E.S.S.; CORREA, M.M.; SILVA, E.R.; FERREIRA, R.L.C.; FIGUEIREDO, A.C.; POSSAS, J.M.C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, 33(3): 461-469, 2009.

MURATA, N.; OHTA, S.; ISHIDA, A.; KANZAKI, M.; WACHIRINRAT, C.; ARTCHAWAKOM, T.; SASE, H. Comparison of soil depths between evergreen and deciduous forests as a determinant of their distribution, Northeast Thailand. **Journal of Forest Research**, 14:212–220, 2009.

NÁVAR, J. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. **Journal of Hydrology** 145: 175–190, 1993.

NÁVAR, J.; MÉNDEZ-GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H. Gross precipitation and throughfall chemistry in legume species planted in Northeastern Mexico. **Plant and Soil**, 318: 15–26, 2009.

OLIVEIRA, L.L.; FERREIRA DA COSTA, R.; SOUSA, F.A.S.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuana, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, 38(4): 723 – 732, 2008.

OLIVEIRA, R.R. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, 18(4): 793-799, 2004.

PINEDA-GARCÍA, F.; PAZ, H.; TINOCO-OJANGUREN, C. Morphological and physiological differentiation of seedlings between dry and wet habitats in a tropical dry forest. **Plant, Cell and Environment**, 34: 1536–1547, 2011.

QUEREJETA, J.I., ESTRADA-MEDINA, H., ALLEN, M.F., JIMENEZ-OSORNIO, J.J. Water partitioning among trees growing on shallow karst soils in a seasonally dry tropical climate. **Oecologia**, 152: 26–36, 2007.

RAZ-YASEEF, N.; YAKIR, D.; SCHILLER, G.; COHEN, S. Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. **Agricultural and Forest Meteorology**, 157: 77 - 85, 2012.

REICH, P.B. & BORCHERT, R. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the Lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, 72: 61-74, 1984.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2012. 500p.

SAMPAIO, E.V.S.B. **Caracterização do bioma Caatinga**. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. (eds.). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010. p.29-393.

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, 1995. p. 35-63.

SAMPAIO, E.V.S.B.; GASSON, P.; BARACAT, A.; CUTLER, D.; PAREYN, C.F.; LIMA, K.C. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, 259: 1135 – 1140, 2010.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 13: 217-225, 2009.

SCHENK, H.J. & JACKSON, R.B. The global biogeography of roots. **Ecological Monographs**, 72: 311–328, 2002.

SCHENK, J.H. & JACKSON, R.B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, 126: 129 – 140, 2005.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339–346, 1965.

SHUTTLEWORTH, W. J. **Evaporation**. In: Maidment, D.R. (Editor in Chief). Handbook of hydrology, 1ª ed., Cap. 4, New York, EUA: McGraw-Hill, 1993.

SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A.B.; MELO, F.B.; COELHO FILHO, M.A. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. **Scientia Agricola**, 64: 636-640, 2007.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V.F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, 17(2): 231-246, 2003.

SILVA, F. B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C.; BRITO, L.T. L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, A.B.; ARAÚJO, Fo. J.C.; LEITE, A.P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e grossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA-CPTSA, 1993. 2 vol.

SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 23(2): 436 - 445, 2009.

SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.(Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasilica**, 25(2): 301-314, 2011.

SILVEIRA, E.R. **Contribuição ao conhecimento químico de plantas do nordeste: *Croton sonderianus***. Dissertação de Mestrado (UFC – DQOI), Fortaleza, 1979.

SOUZA, B.D.; MEIADO, M.V.; RODRIGUES, B.M.; SANTOS, M.G. Water relations and chlorophyll fluorescence responses of two leguminous trees from the caatinga to different watering regimes. **Acta Physiol Plant.**, 32: 235 – 244, 2010.

SOUZA, B.D.; RODRIGUES, B.M.; ENDRES, L., SANTOS, M.G. Ecophysiology parameters of four Brazilian Atlantic Forest species under shade and drought stress. **Acta Physiol Plant**, 32: 729-737, 2010 (a).

SOUZA, E.S.; ANTONINO, A.C.D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; NETTO, A.M. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12 (2): 128 - 135, 2008 (b).

TAIZ, L. & ZEIGER, E. (2010). Tópico 3.6: Measuring water potential, **Plant Physiology**, Fifth Edition Online. <<http://www.plantphys.net>> Acesso em: 01 out. 2011.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TARDIEU, F. & SIMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, 49: 419–432, 1998.

TERTULIANO, S. S. X.; SILVA, J. A.; PAES, J. B.; ARAÚJO, L. V. C. Equações de massa e determinação da massa específica básica da madeira de *Croton sonderianus*. Müll.Arg. **Brasil Florestal**, 76: 15-22, 2003.

TROVÃO, D.M.B.M.; FERNANDES, P.D.; ANDRADE, L.A.; DANTAS NETO, J.D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, 11(3): 307-311, 2007.

TROVÃO, D.M.B.M.; SILVA, S.C.; SILVA, A.B.; VIEIRA JÚNIOR, R.L. Estudo comparativo entre três fisionomias de caatinga no estado da Paraíba e análise do uso das espécies vegetais pelo homem nas áreas de estudo. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, 4(2):1-5, 2004.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, 58: 339-366, 1981.

TYREE, M.T. & SPERRY, J.S. Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? Answers from a model. **Plant Physiology**, 88: 574–580, 1988.

VALDEZ-HERNÁNDEZ, M.; ANDRADE, J.L.; JACKSON, P.C.; REBOLLEDO-VIEYRA, M. Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. **Plant and Soil**, 329: 155–171, 2010.

WANG, X.P.; LI, X.R.; ZHANG, J.G.; ZHANG, Z.S.; BERNDTSSON, R. Measurement of rainfall interception by xerophytic shrubs in re-vegetated sand dunes. **Hydrological Sciences Journal**, 50 (5): 897-910, 2005.

ZUFFEREY, V.; COCHARD, H.; AMEGLIO, T.; SPRING, J.-L.; VIRET, O. Diurnal cycles of embolism formation and repair in petioles of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Chasselas). **Journal of Experimental Botany**, 62 (11): 3885–3894, 2011.

CAPÍTULO II

Interceptação pluvial e armazenamento de água no solo em áreas de pastagem e de caatinga no semiárido brasileiro

Interceptação pluvial e armazenamento de água no solo em áreas de pastagem e de caatinga no semiárido brasileiro

RESUMO

A quantidade de água para as plantas está diretamente relacionada com a precipitação que efetivamente atinge a superfície do solo. Objetivou-se medir a partição das chuvas e o estoque de água no solo em três estádios de cobertura florestal de caatinga (raleada, densa e densa com bromélias) e em área de pasto com *Cenchrus ciliaris* L. A intensidade pluviométrica variou de 0,2 a 85 mm h⁻¹ (n=714) com 55% dos eventos chuvosos entre 0,2 e 1 mm h⁻¹. O total pluvial acumulado livre de interceptação foi de 1.060 mm, desse montante, 87% atingiram de forma direta (sem interceptação) a superfície do solo na caatinga raleada, 81% na caatinga densa, 61% no *C. ciliaris* e 40% na caatinga densa com bromélias. Esses diferentes volumes de entrada de água no solo provocaram diferentes armazenamentos de água nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de solo. A secagem da água armazenada em termos proporcionais em 0-40 cm de solo foi maior na caatinga densa (média da área com e sem bromélias), seguida da caatinga raleada e da área com *C. ciliaris*. O decréscimo lento da água armazenada na área de capim-buffel em relação à área de caatinga pode estar relacionado com o menor consumo de água dessa gramínea e a evaporação de água no solo, e a alta adaptação do *C. ciliaris* à escassez hídrica.

Palavras-chaves: precipitação efetiva, capim-buffel, *Cenchrus ciliaris*, particionamento de chuva, hidrologia.

Rainfall intercept and soil water storage in grassland and caatinga areas in Brazilian semiarid

ABSTRACT

The amount of water to plants is directly related to the precipitation that actually reaches the surface of the soil. This study aimed to measure the partition of rainfall and water storage in the soil at three stages of forest cover caatinga (thinned, dense, dense with bromeliads) and grassland area with *Cenchrus ciliaris* L. The rainfall intensity ranged from 0.2 to mm h^{-1} ($n = 714$) with 55% of rainfall events between 0.2 and 1 mm h^{-1} . The overall cumulative rainfall intercept free was 1.060 mm, this amount, 87% achieved directly (without interception) the soil surface in thinned caatinga, 81% in dense caatinga, 61% in *C. ciliaris* and 40% in dense caatinga with bromeliads. These different water inputs volumes in soil caused different water storage at 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm of soil. The proportion water drying to 0-40 cm of soil was higher in the dense caatinga (average area with and without bromeliads), followed by dense caatinga and thinned caatinga area *C. ciliaris*. The slower decrease of stored water in buffel-grass area in relation to the caatinga area might be related with the lowest water consumption of that grass and soil water evaporation, and high adaptability of *C. ciliaris* water scarcity.

Keywords: effective precipitation, buffel-grass, *Cenchrus ciliaris*, partitioning of rainfall, hydrology.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é quase sempre a única fonte de abastecimento de água em zonas áridas e semiáridas tropicais e, portanto, desempenha um papel relevante na sustentabilidade dos ecossistemas. Basicamente é medida de duas formas, precipitação total (PT) e precipitação efetiva (PE) a que efetivamente chega à superfície do solo após passar pela interceptação do dossel. Características morfológicas e estruturais dos dosséis, aliado às condições meteorológicas (temperatura e velocidade do vento) durante os eventos de chuvas influenciam diretamente a capacidade de armazenamento de água na copa da planta (infiltração, evaporação), e conseqüentemente o particionamento das chuvas (Klaassen et al., 1996; Domingo et al., 1998; Wang et al., 2005).

Em florestas tropicais secas (FTS), a interceptação do dossel somada ao escoamento pelo caule e à evaporação variam de 12 (Khan, 1999; Raz-Yaseef et al., 2012) a 36% (Wang et al., 2005) da precipitação total, sendo tal fato decorrente principalmente da variação de intensidade e duração da chuva (Wang et al., 2005; Raz-Yaseef et al., 2012). A presença de bromeliáceas abaixo da copa das árvores, fato não raro no bioma caatinga (Bessa, 1982; Mayo, 1992), forma uma segunda camada de interceptação (Carlyle-Moses, 2004). Nesse caso, o formato cônico das folhas pode interceptar mais que o dossel das árvores (Fleischbein et al., 2005), como o observado em FTS com *Agave* spp., em que 8,5% foi interceptado pela copa das árvores e 59,6% quando existia bromélias (Carlyle-Moses, 2004).

Áreas exclusivamente com herbáceas, como as pastagem de gramíneas (Domingo et al., 1998; Thomaz, 2005), e as culturas de cana-de-açúcar (Castilho, 2000) e do trigo (Leuning et al., 1994), podem interceptar mais do que árvores. A alta perda por interceptação resultante da copa densa (baixo escoamento da precipitação pelo caule e baixa precipitação efetiva) pode ser compensada pela maior eficiência no uso da água no solo pelas gramíneas, uma vez que esse tipo de planta tem sistema radicular superficial e pode reter suas folhas mortas ainda como parte da planta na superfície do solo (manta de serapilheira) o que favorece o maior tempo de umidade no solo e ao mesmo tempo protege de enxurradas e transporte de sedimentos (Domingo et al., 1998).

Do ponto de vista hidrológico, a entrada de água no solo é comumente calculada como a precipitação que atravessa o dossel das plantas (Castilho, 2000; Ferreira et al., 2008) e atinge a superfície do solo, ignorando a manta de serapilheira. Para uma mesma camada e condição física do solo (porosidade, textura e estrutura), o tempo de

armazenamento de água depende principalmente das espécies de plantas e da cobertura da superfície do solo (Santos et al., 2009). A ideia substancial desse estudo é o conhecimento dos processos hidrológicos, armazenamento e secagem, da água no solo que são influenciados pela interceptação da água da chuva em paisagens heterogêneas, floresta de caatinga e pasto de capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). De acordo com essa ideia, dois questionamentos podem ser levantados: 1) Qual a precipitação efetiva média abaixo do *Cenchrus ciliaris* e dos dosséis da caatinga? 2) Qual a taxa de secagem da água armazenada em 0-40 cm do solo (camada de impedimento) em área de pasto e em áreas de caatinga raleada e densa?

Nesse propósito, os principais objetivos desse estudo são, em primeiro lugar, avaliar a partição das chuvas em três estádios de cobertura florestal de caatinga e em uma área de pasto com *Cenchrus ciliaris* L. em região semiárida brasileira, e em segundo, avaliar o armazenamento de água no solo em cada uma dessas fisionomias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O estudo foi conduzido de fevereiro de 2011 a junho de 2012 em campo experimental pertencente à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A. (EMEPA) em Soledade, PB, Brasil, em torno das coordenadas 7°10'36" S e 36°27'30" O (Figura 2.1). A altitude é de 545 m com relevo plano a suavemente ondulado, com solos rasos (máximo 70 cm de profundidade), classificados como Planossolo Nátrico órtico típico. Precipitação média anual de 420 mm (1941-2010, Apêndice I), e médias anuais de 25°C de temperatura e 68% de umidade relativa do ar. Medidas de pluviosidade e as interceptações foram realizadas em uma área de pasto com predominância de *Cenchrus ciliaris* L. (capim-buffel, Apêndice II) e outra com sete espécies arbóreo-arbustivas (Tabela 2.1) da caatinga (floresta tropical sazonalmente seca), localizadas em campos vizinhos, separadas apenas por uma cerca (Figura 2.2).

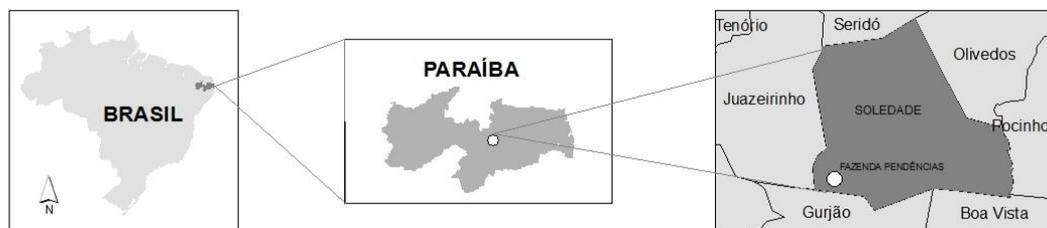


Figura 2. 1 Mapa de localização da área experimental, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

Tabela 2. 1. Árvores e arbustos, em ordem de abundância, que interferiram na interceptação pluvial na área de caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

Nome científico	Família	Nome popular	Altura ¹ (m)	Densidade ² (Ind. ha ⁻¹)
<i>Croton blanchetianus</i> Muell. Arg.	Euphorbiaceae	Marmeleiro	3,7	700
<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.	Fabaceae	Catingueira	5,1	350
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Benth	Mimosoideae	jurema-de-imbira	4,6	350
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Apocynaceae	Pereiro	3,2	250
<i>Bauhinia unguolata</i> Link.	Fabaceae	Mororó	2,8	450
<i>Manihot glaziovii</i> Muell. Arg.	Euphorbiaceae	Maniçoba	6,0	250
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	jurema-branca	4,5	100

¹ Altura média. ² Adaptado de Florentino (2012), número de indivíduos adultos por hectare.

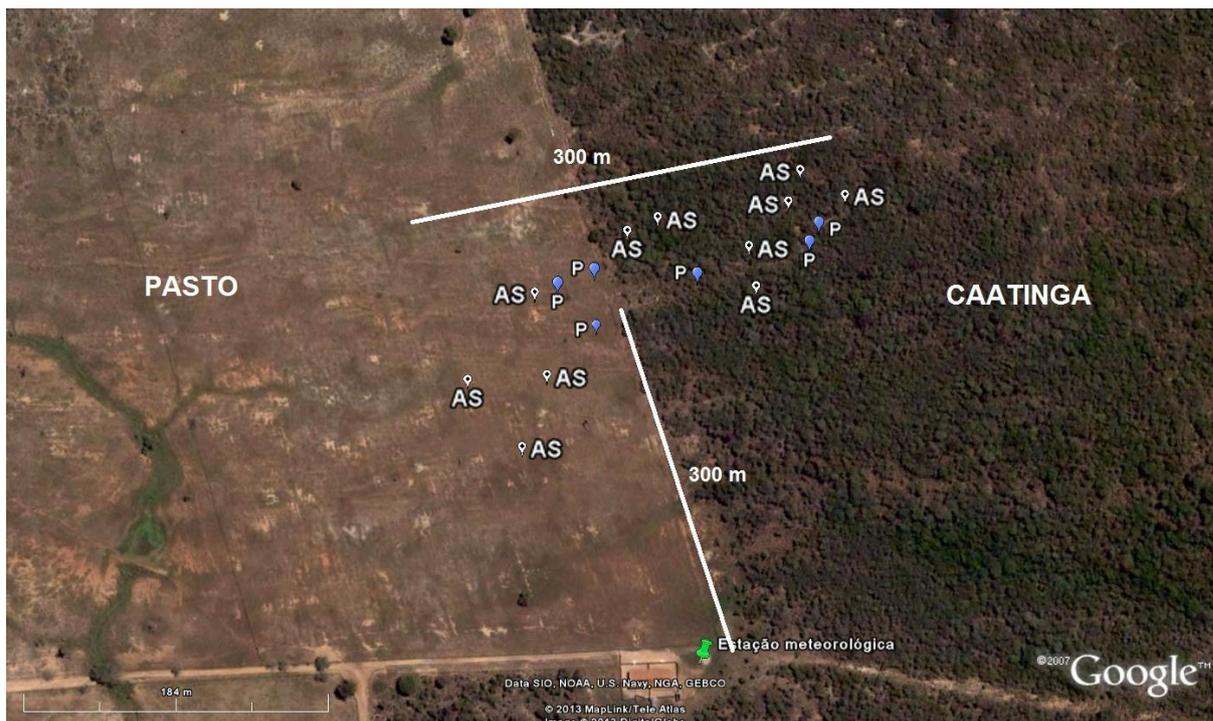


Figura 2. 2. Imagem da área experimental, pasto (esquerda) e floresta de caatinga (direita) no período de estiagem e localização dos pluviômetros (P) e dos pontos de medida do armazenamento de água no solo (AS), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

2.2. Intensidade pluviométrica

Na área experimental foi instalado um pluviômetro automático acoplado a estação meteorológica HOBO U30[®]. As leituras pluviais foram realizadas a cada 2 segundos com o armazenamento dos dados o somatório de cada 30 minutos. A intensidade das chuvas foi calculada em para os dias em que foram medidas as interceptações pluviométricas. Intervalo maior que trinta minutos entre uma chuva e outra foi considera um novo evento chuvoso.

2.3. Pluviômetros e Interceptômetros

Foram utilizados dois tipos de pluviômetros/interceptômetros: um tipo funil com área de captação de 165 cm² e outro tipo calha com área de 1617 cm² (Apêndice III, Figura 4). Para medir a variabilidade pluviométrica, três **pluviômetros** de cada tipo foram distribuídos de forma aleatória em cada área experimental (pasto e caatinga). Os do tipo ‘funil’ foram instalados a 2 m de altitude acima da superfície do solo e os do tipo ‘calha’ a 1 m, ambos os tipos de pluviômetros não sofreram intervenção do dossel das

árvores. A média obtida em cada tipo de pluviômetro e em cada área experimental foi usada como a precipitação total do experimento.

Para as medidas da interceptação por *Cenchrus ciliaris*, seis **interceptômetros** do tipo funil foram instalados 10-15 cm acima da superfície do solo, abaixo da cobertura foliar, em locais que foram casualizados ao longo do tempo, mas sempre próximos dos pontos de acompanhamento da umidade do solo.

Na área de floresta foram medidos três níveis (extratos) de interceptação arbórea com seis interceptômetros em cada extrato: 1) Interceptômetros do tipo funil instalados a 10-15 cm do solo em área de floresta raleada (cerca de 5 m² sem interferência da copa das árvores) – *caatinga raleada*; 2) Interceptômetros do tipo funil instalado abaixo da copa das árvores a 1 m da superfície do solo – *caatinga densa*; e 3) Interceptômetros do tipo calha, instalados vizinhos ao do nível 2, também abaixo da copa das árvores, mas ainda abaixo de um estrato de bromélias (*Neoglaziovia variegata* (Arr. Cam.) Mez. e ou *Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult) – *caatinga densa com bromélias*.

Para calcular a diminuição causada pela interceptação da vegetação foram empregadas as seguintes equações:

$$I = PT - PE \quad (1)$$

$$PE = (PI + Esc Tr) \quad (2)$$

Em que: *I* é interceptação, *PT* é precipitação total incidente acima da vegetação, *PE* é a precipitação efetiva (precipitação que efetivamente chega ao solo), *PI* é precipitação interna (precipitação que atravessa o dossel das árvores de forma direta pelas aberturas existentes na copa ou de forma gotejada pela água que fica na superfície da copa) e *Esc Tr* é escoamento pelo tronco (Fleischbein et al., 2005; Oliveira et al., 2008; Moura et al., 2009). Tendo em vista que o *Esc Tr* corresponde a menos de 1% do total precipitado em florestas tropicais secas (Khan, 1999; Wang et al., 2005; Herbst et al., 2008) e ainda é de difícil mensuração em árvores de caatinga, por conta da tortuosidade do tronco, esse termo da equação foi considerado nulo. Para esse estudo a precipitação efetiva foi considerada a que chegou a superfície da manta de serapilheira quando presente, sem necessariamente tocar a superfície do solo. Entretanto, vale salientar que a camada de serapilheira é muito fina e descontínua durante a estação chuvosa em floresta de caatinga (Amorim, 2009; Souto et al., 2009).

2.4. Propriedades físicas do solo

A textura e a densidade do solo nas áreas de pasto e de caatinga foram determinadas nas camadas de 0 (superfície, abaixo da camada de serapilheira), 5, 15, 25 e 35 cm (Tabela 2.2.) com as amostragem do solo oriunda de ensaios de infiltração. Os ensaios foram realizados pelo método de Beerkan (Haverkamp et al., 1998; Lassabatère et al., 2006; Souza et al., 2008) com infiltrômetros de anel simples. Com os dados do ensaio foram determinadas as curvas de infiltração acumulada (mm) em função do tempo (s) (Apêndice IV, Figura 2) e com as amostras de solo foram determinadas as curvas granulométricas (Apêndice IV, Figura 3).

Tabela 2. 2. Propriedades físicas do solo em áreas de pastagem (*Cenchrus ciliaris*) e de caatinga preservada na Fazenda Pendência, Soledade, PB.

Prof. cm	Pasto						Caatinga					
	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	TI	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	TI
	g kg ⁻¹			g cm ⁻³	%	mm h ⁻¹	g kg ⁻¹			g cm ⁻³	%	mm h ⁻¹
0	695 [‡]	186	119	1,46	44,8	57,6	780	139	81,1	1,32	47,3	332
5	720	168	112	1,45	45,4	127	720	163	117	1,53	42,4	199
15	786	119	95,6	1,52	42,8	90,0	743	131	126	1,49	43,9	134
25	790	103	107	1,57	40,8	89,4	745	130	126	1,51	42,9	77,3
35	801	107	91,8	1,50	43,5	102	768	108	124	1,50	43,5	169

[‡]n=3. Ds= densidade do solo; PT= porosidade total; TI = taxa de infiltração (ensaio de infiltração pelo método de Beerkan).

2.5. Armazenamento de água no solo

Na área de *C. ciliares* e na área de caatinga, foram realizadas medidas de umidade volumétrica do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Para isso foi utilizada uma sonda de capacitância (Diviner 2000[®]), que utiliza a técnica da *reflectometria no domínio da frequência* (FDR), obtendo-se também as curvas de calibração para cada área e camada. As medidas foram realizadas diariamente às 8h00 em 12 tubos de acesso, quatro na área de pasto, quatro na caatinga raleada e quatro na caatinga densa (incluindo as áreas com bromélias), distanciados entre 1 e 4 m dos interceptômetros (Apêndice III, Figura 5). O armazenamento de água no solo foi calculado pela equação (3).

$$Arm(s) = \frac{\sum [J_0^z(\theta_i \cdot dz)]}{n} \quad (3)$$

Em que:

$Arm(s)$ = armazenamento médio semanal de água no solo (mm);

z = profundidade em estudo;

θ_i = umidade volumétrica média diária na camada ($m^3 m^{-3}$);

dz = camada (mm);

Σ = somatório do armazenamento diário (mm);

n = número de dias

Após os 18 meses de observação do estado hídrico do solo foram selecionados dois períodos de maior intervalo sem chuvas, 68 dias em 2011 (26/agosto a 01/novembro) e 85 dias em 2012 (23/fevereiro a 18/maio) para determinar as curvas de secagem do solo em 0-40 cm. Para isso, foi tomado o armazenamento médio de cada estrato da vegetação depois de até 24 horas da última chuva acima de 1 mm (as leituras do armazenamento de água no solo foram feitas todos os dias às 8h00), iniciando a contagem dos dias sem precipitação até o próximo evento chuvoso maior ou igual que 1 mm. Devido a heterogeneidade do armazenamento e da umidade do solo, a condição hídrica do solo foi confrontada em base de proporção atribuindo 1 para a condição de umidade do solo no primeiro dia de estiagem e 0 (zero) para o estado de água ausente no solo.

2.6. Análise estatística

Constou da análise descritiva dos dados com distribuição de frequência da intensidade das chuvas, erro padrão da média e regressão linear para os dados de interceptação. A quantidade de dias com chuvas foi confrontada com a quantidade de volume precipitado pelo Teste t-Student, $p \leq 0,01$. As médias da precipitação efetiva acumulada e da precipitação total foram comparadas pelo teste de Tukey-HSD a ($p < 0,05$), bem como o mesmo teste foi utilizado para confrontar o armazenamento de água no solo entre camadas. Em todas as análises foi utilizado o Software Statistica 8.0 (StatSoft, 2007).

3. RESULTADOS

3.1. Distribuição pluviométrica

A precipitação pluvial de 958 mm do ano de 2011, a segunda maior em 71 anos de observação (1941-2011, Apêndice I, Figura 1), correspondeu a 2,3 vezes mais que os 420 mm da média histórica (Apêndice I, Figura 1). Entre os meses deste ano, apenas o de fevereiro não seguiu a mesma tendência, com pluviosidade 30% abaixo dos 53 mm observado na média histórica. Em 2012, a precipitação pluviométrica foi apenas 249 mm, a menor entre os anos de 1999 e 2011. Entretanto, a pluviosidade de janeiro, fevereiro e junho ficaram acima da média histórica, enquanto de março a maio o acumulado foi de 18 mm, bem abaixo dos 230 mm do histórico desses meses (Apêndice I, Figura 3). Os dias chuvosos variaram de 1 a 16 ao longo de cada mês e nem sempre o maior número de dias com chuvas no mês representou o maior volume pluvial entre os meses de janeiro de 2011 a dezembro de 2012 (Figura 2. 3).

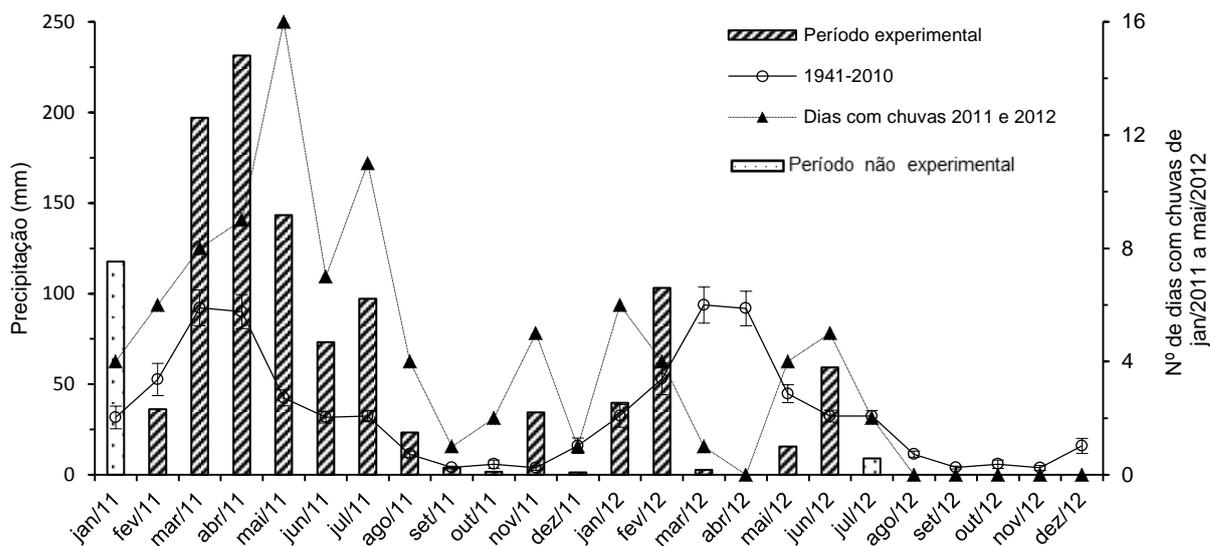


Figura 2. 3. Precipitação pluviométrica mensal e número de dias com chuvas de 2011 e de 2012. Período experimental de fevereiro de 2011 a junho de 2012. Linha com barra de erro representa a média pluviométrica de 1941-2010 na Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

3.2. Intensidade pluviométrica

A intensidade pluviométrica variou de 0,2 a 85 mm h⁻¹ para os eventos medidos a cada 30 minutos com número de 714 eventos chuvosos e frequência modal entre 0,2 e 1,0 mm h⁻¹ para 55% destes eventos. No entanto, esse intervalo só contribuiu com cerca de

100 mm (Figura 2. 4) de um total de 1.060 mm de pluviometria de fevereiro de 2011 a Junho de 2012. Por outro lado, as classes com intensidade maior que 10 mm h⁻¹ somaram 5% dos casos, mas a contribuição foi de aproximadamente 500 mm para o total acumulado (Figura 2. 4). A relação entre a intensidade das pluviométrica e o volume pluvial dos dias em que foram medidos as intercepções são apresentados na Figura 2. 5.

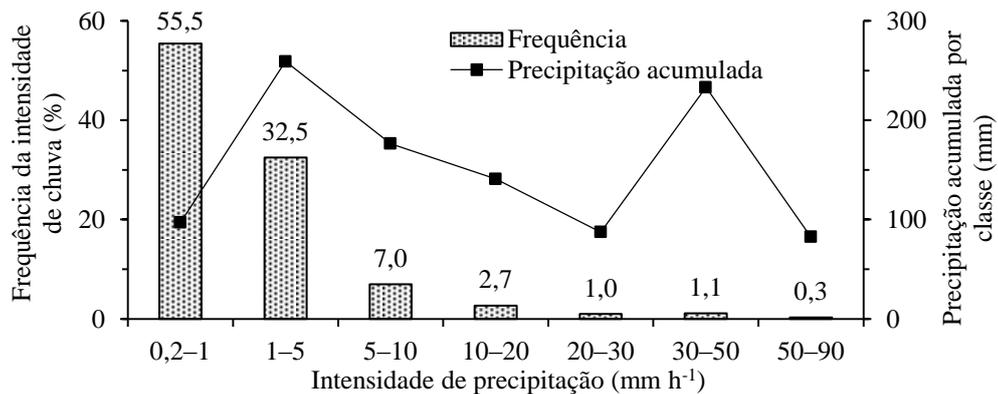


Figura 2. 4. Distribuição de frequência (n=714) da intensidade de chuva e da precipitação acumulada por classe em Soledade, PB, Brasil. Intervalos das classes de precipitação são fechados para o maior valor.

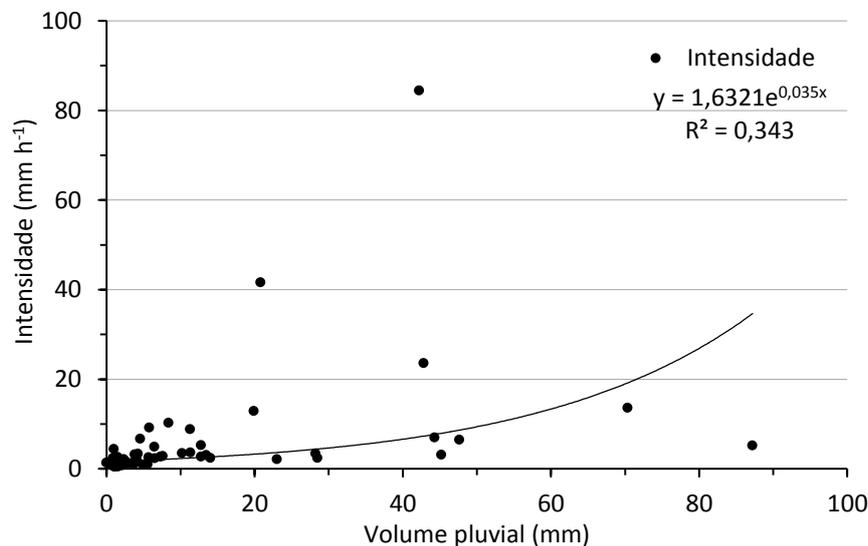


Figura 2. 5. Intensidade das chuvas em 64 dias de fevereiro de 2011 a junho de 2012, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

3.3. Interceptação pluviométrica e precipitação efetiva

As chuvas menores que 1 mm (n=396) foram totalmente interceptadas pela vegetação (Figura 2.6). Na caatinga raleada a interceptação foi de apenas 12,8% da

precipitação total de 1.060 mm, acumulados de fevereiro de 2011 a junho de 2012. As copas das árvores interceptaram 19,4% (caatinga densa) e quando observado abaixo das bromélias, a interceptação acumulada foi de 60,4% da PT (Tabela 2. 3). A precipitação que efetivamente atingiu a superfície do solo (PE) nesses três estratos foi 925, 874 e 427 mm, respectivamente (Figura 2. 7). Na área com *C. ciliaris*, a interceptação da chuva foi em média de 39% (Tabela 2. 3), com PE acumulada de 692 mm, intermediária entre a observada na caatinga raleada e na caatinga densa com bromélias (Figura 2. 7).

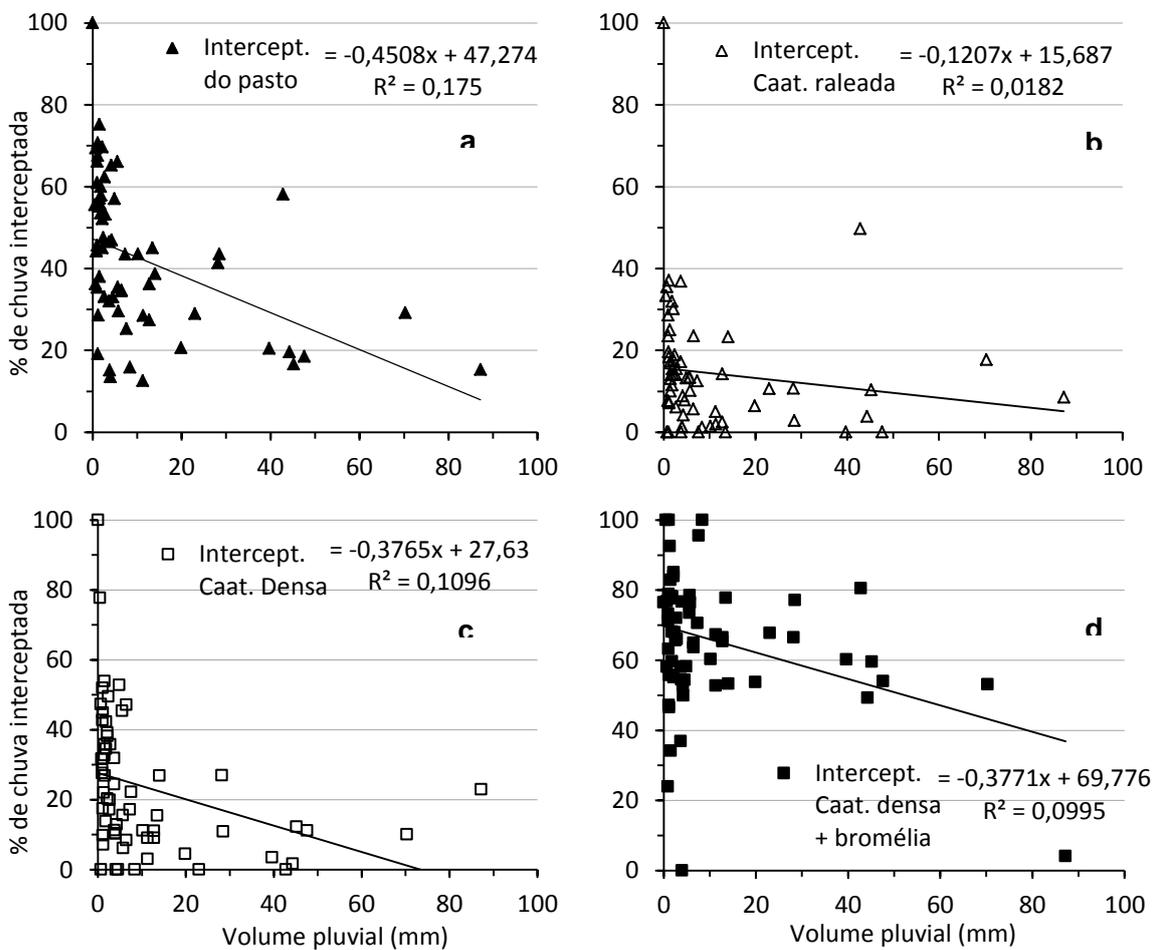


Figura 2. 6. Porcentagem de chuva interceptada em relação a precipitação pluvial em área de pasto (a) (*Cenchrus ciliaris* L.), de caatingas raleada (b), de caatinga densa (c) e de caatinga com bromélias (d), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

Para as chuvas acumuladas em até 24 horas, a interceptação diminuiu com aumento do volume precipitado (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$). Pluviosidades entre 1 e 5 mm foram interceptadas em 50% por *Cenchrus ciliaris* e 80% por caatinga densa com bromélias,

enquanto para chuvas superiores a 30 mm as intercepções médias foram 30 e 52%, respectivamente (Tabela 2. 3).

Tabela 2. 3. Intercepção (%) das chuvas por pasto (*Cenchrus ciliaris*) e por floresta de caatinga (raleada, densa e densa com bromélias) acumuladas em 24 horas, em Soledade, PB, Brasil.

Classe de chuva	Números de dias	Pasto		Caatinga	
		<i>Cenchrus ciliaris</i>	Raleada	Densa	Densa com bromélias
1-5 mm	27	49,7 ± 3,0	18,6 ± 2,1	31,1 ± 2,1	79,7 ± 1,4
5-10 mm	12	46,0 ± 4,1	14,0 ± 2,0	21,1 ± 2,0	64,3 ± 1,7
10-20 mm	10	36,0 ± 4,0	9,03 ± 1,4	15,7 ± 1,4	54,7 ± 3,2
20-30 mm	5	32,5 ± 5,9	11,1 ± 2,4	14,6 ± 2,4	51,5 ± 4,0
>30 mm	10	29,9 ± 4,1	11,2 ± 3,1	14,6 ± 3,1	51,6 ± 3,3
Média [‡]		38,8	12,8	19,4	60,4

Dados são: média ± erro padrão; [‡]Média aritmética.

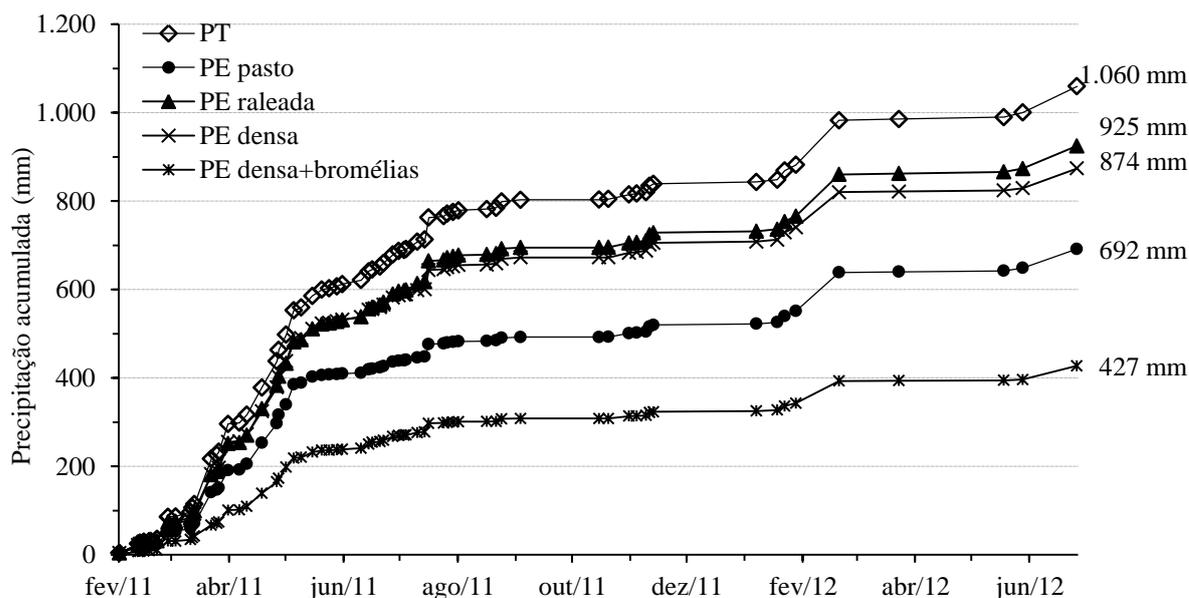


Figura 2. 7. Precipitação acumulada total livre de intercepção (PT) e efetiva (PE), na área de pasto com *Cenchrus ciliaris* (PE pasto) e na área de caatinga, raleada (PE raleada), densa (PE densa) e densa com bromélias (PE densa + bromélias) de fevereiro de 2011 a junho de 2012 em Soledade, PB, Brasil.

A PE apresentou relação linear com os eventos de chuvas (Figura 2. 8). O valor do coeficiente de determinação (R^2) foi maior para a caatinga raleada, seguido da caatinga densa, do pasto com *C. ciliaris* e por último a caatinga densa com bromélias, (Figura 2.8 a-d). Em relação as precipitações acumuladas efetiva e total (Figura 2. 8), a PT diferiu

(Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) da PE na área de pasto e na de caatinga densa com bromélias. Por sua vez, essas duas áreas também diferiram a PE entre si e entre as demais áreas em estudo.

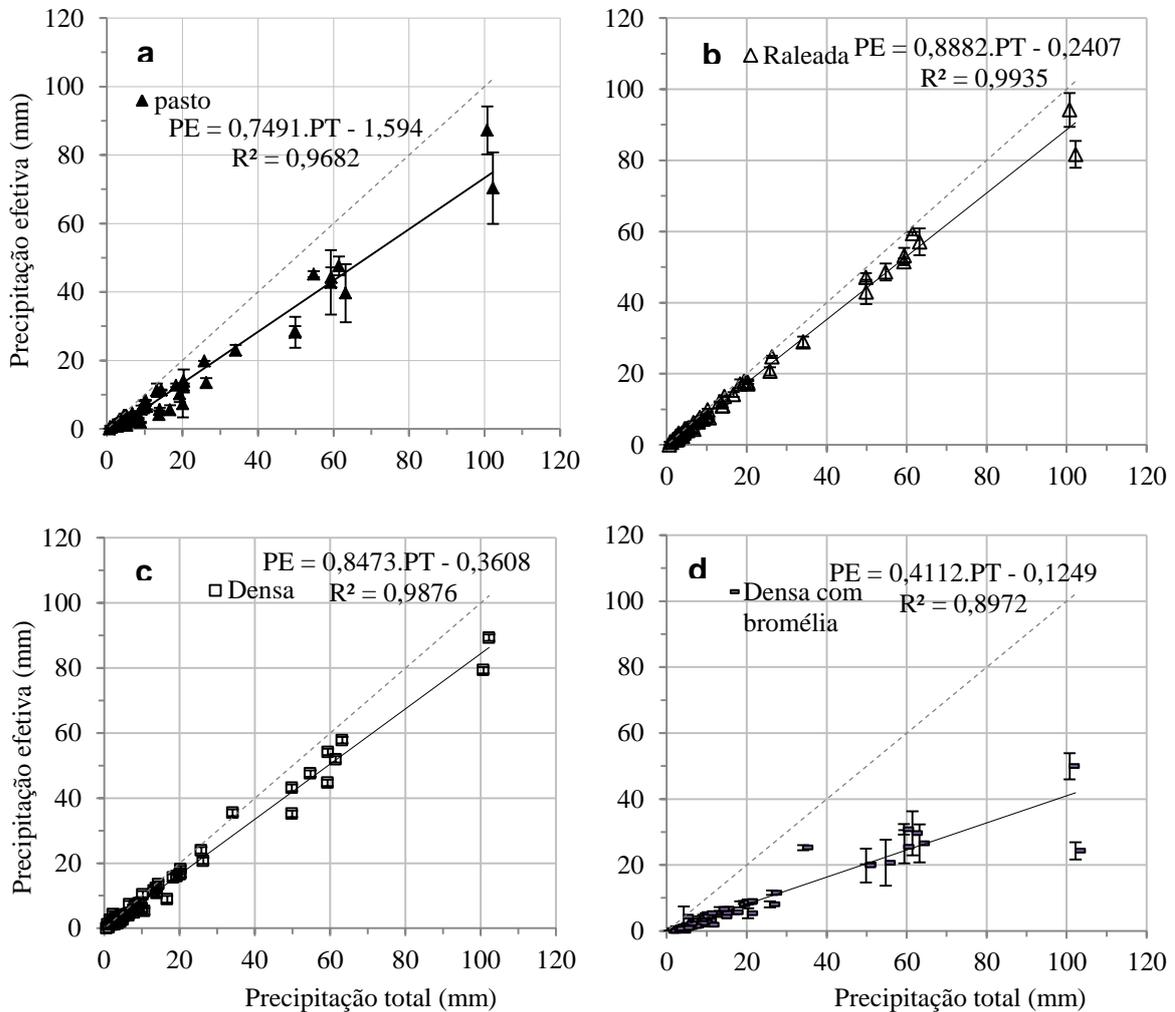


Figura 2. 8. Regressão ($n=64$) entre a precipitação total incidente acima do dossel e a efetiva na área de pasto (a) e de caatinga raleada (b), caatinga densa (c) e caatinga densa com bromélias (d) em Soledade, PB, Brasil. Linha tracejada representa relação de 1:1 ($PT=PE$). Barras indicam erro padrão da média.

3.4. Precipitação pluviométrica versus armazenamento de água no solo

O volume de água armazenada no solo variou de acordo com a precipitação pluviométrica total incidente acima do dossel (PT) (Figura 2. 9a-d) e a que efetivamente atingiu o solo (PE) (Figura 2. 9a-c). O armazenamento em cada camada do 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm apresentou diferença significativa (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) apenas na área de pasto e entre as três primeiras camadas (Figura 2. 9b). Na área de caatinga a

estocagem de água foi semelhante entre todas as camadas, sobretudo no período seco (Figura 2. 9 c-d).

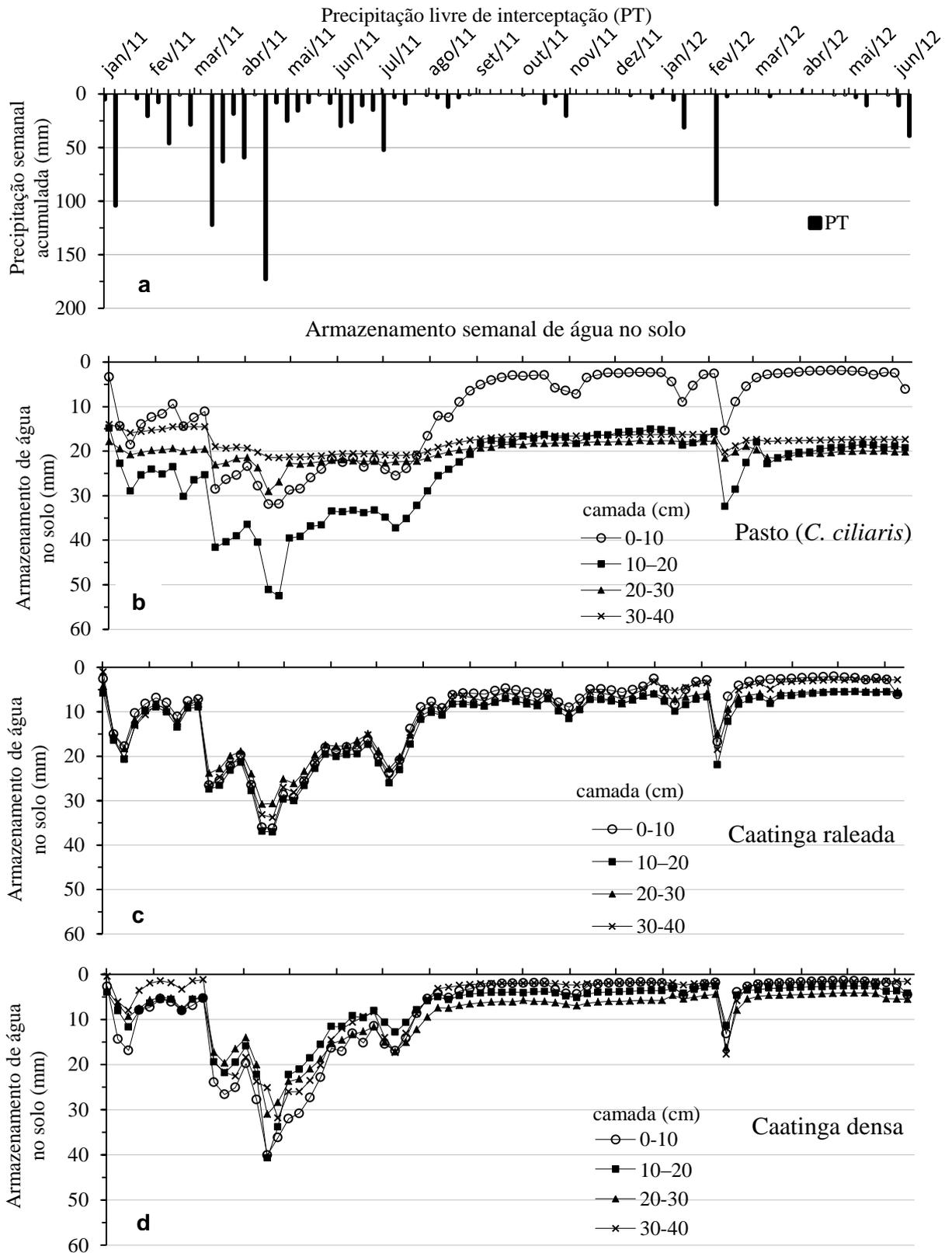


Figura 2. 9. Precipitação livre de interceptação (a) e média semanal do armazenamento de água no solo a cada 10 cm (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) de 19/01/2011 a 26/06/2012

em área de pasto (b), de caatinga raleada (c) e caatinga densa (d) na Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

O acúmulo semanal da PT mais proeminente do período experimental foi de 173 mm (Maio/2011) em que a PE foi de 132 mm na área de pasto e de 151 e 120 mm na caatinga raleada e na densa (média dos tratamentos ‘caatinga densa’ e ‘caatinga densa com bromélias’), respectivamente. Esses valores da PE foram considerados como entrada de água no solo, tendo em vista que na superfície do solo havia uma camada muito fina de serapilheira para reter parte da água e os pontos de leitura do armazenamento de água foram bem distribuídos em função do relevo, que por sinal é praticamente plano com pontos isolados com menos de 3% de declividade. A relação entre PT, precipitação efetiva e o armazenamento de água no solo das áreas em estudo são apresentadas nas Figuras 2. 10 e 2. 11a-b.

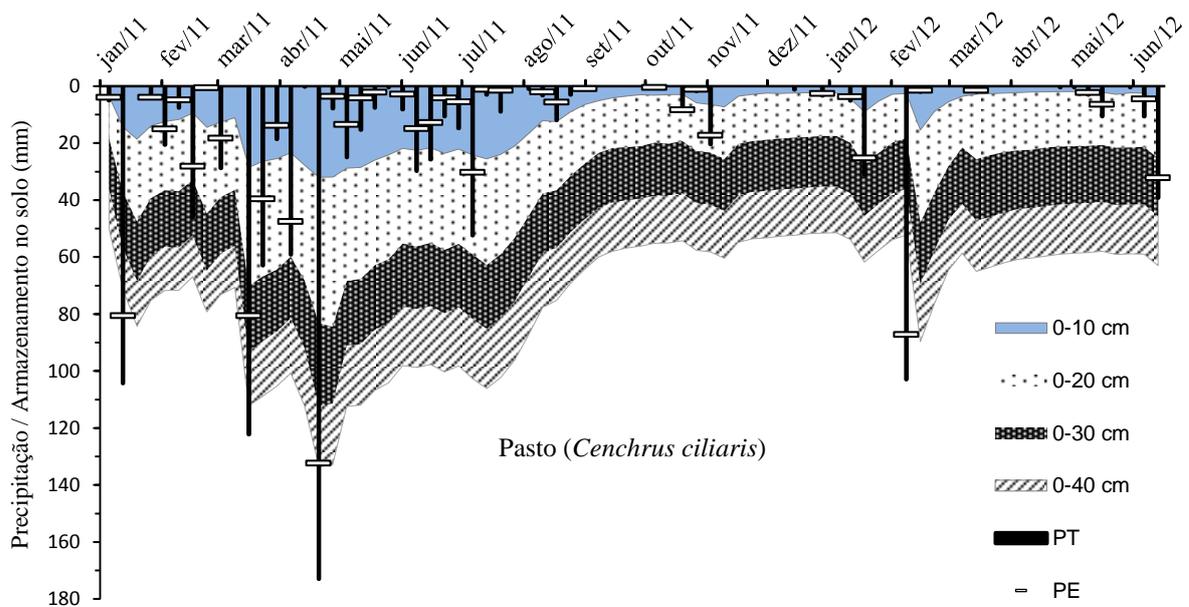


Figura 2. 10. Média semanal do armazenamento de água no solo (0-10, 0-20, 0-30 e 0-40 cm) em função da precipitação pluviométrica total (PT) e da efetiva (PE) de 19/01/2011 a 26/06/2012, em área de pasto na Fazenda Pendência, Soledade, PB.

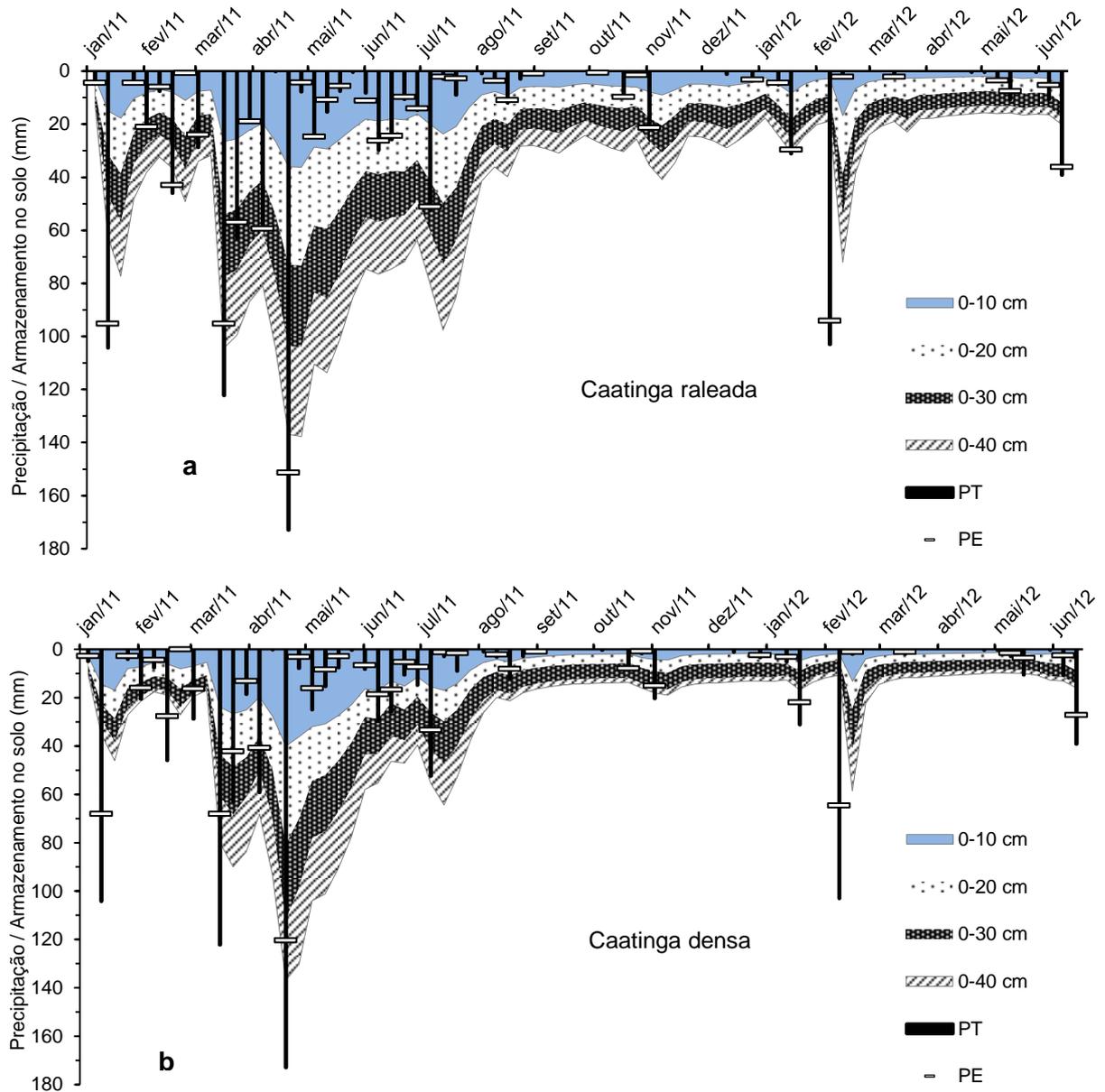


Figura 2. 11. Média semanal do armazenamento de água no solo (0-10, 0-20, 0-30 e 0-40 cm) em função da precipitação pluviométrica total (PT) e da efetiva (PE) de 19/01/2011 a 26/06/2012, em caatinga raleada (a) e na densa (média da área com e sem bromélias) (b), Fazenda Pendência, Soledade, PB.

O tempo de armazenamento de água no solo foi dependente da cobertura vegetal e das propriedades físicas do solo, tendo em vista que as intempéries climáticas foram às mesmas. O intervalo de 68 dias sem chuvas de 26 de agosto a 01 de novembro de 2011 ocasionaram perdas do estoque de água de 75% na camada de 0-10 cm profundidade, correspondente a lâmina de 13 (15,5 menos 2,91), 5,3 (7,58 menos 2,31) e 6,2 mm (8,03 menos 1,85), nas áreas de pasto, caatinga raleada e caatinga densa, respectivamente, e de 87% de março a maio de 2012. Com o avanço da profundidade as perdas de água foram

proporcionalmente menos acentuadas, porém mais heterogêneas entre as áreas, para o intervalo supracitado de 2011 na camada de 0-40 cm, o pasto perdeu 26 mm (82 menos 56), 31%, a caatinga raleada 11 mm (29 menos 18), 37%, e a caatinga densa 13 mm (27 menos 14), 48% de lâmina d'água (Figura 2. 12a). Nos 85 dias sem chuvas de 23 de fevereiro a 18 de maio de 2012, as perdas no armazenamento de água no perfil do solo (0-40 cm) foram mais severas, com queda de 35 mm (95 menos 60) para o solo sob o pasto, e de 60 (76 menos 16) e 53 mm (65 menos 12) para a caatinga raleada e a densa, respectivamente (Figuras 2. 12b).

Proporcionalmente, a secagem da água armazenada em 0-40 cm do solo foi maior na área de caatinga densa, sem diferença significativa (Tukey-HSD, $p>0,05$) entre a área de pasto e de caatinga raleada de 26/ agosto a 01/ novembro de 2011, maior período sem chuva em 2011. Para a estiagem de 85 dias em 2012, de 23/fevereiro a 28/maio, o consumo da água armazenada foi mais acentuado nas áreas de caatinga, sem existir diferença significativa (Tukey-HSD, $p>0,05$) entre a área raleada e densa. Por outro lado, na área de pasto o decréscimo da água armazenada foi a metade do observado nas áreas de caatingas (Figura 2. 12b).

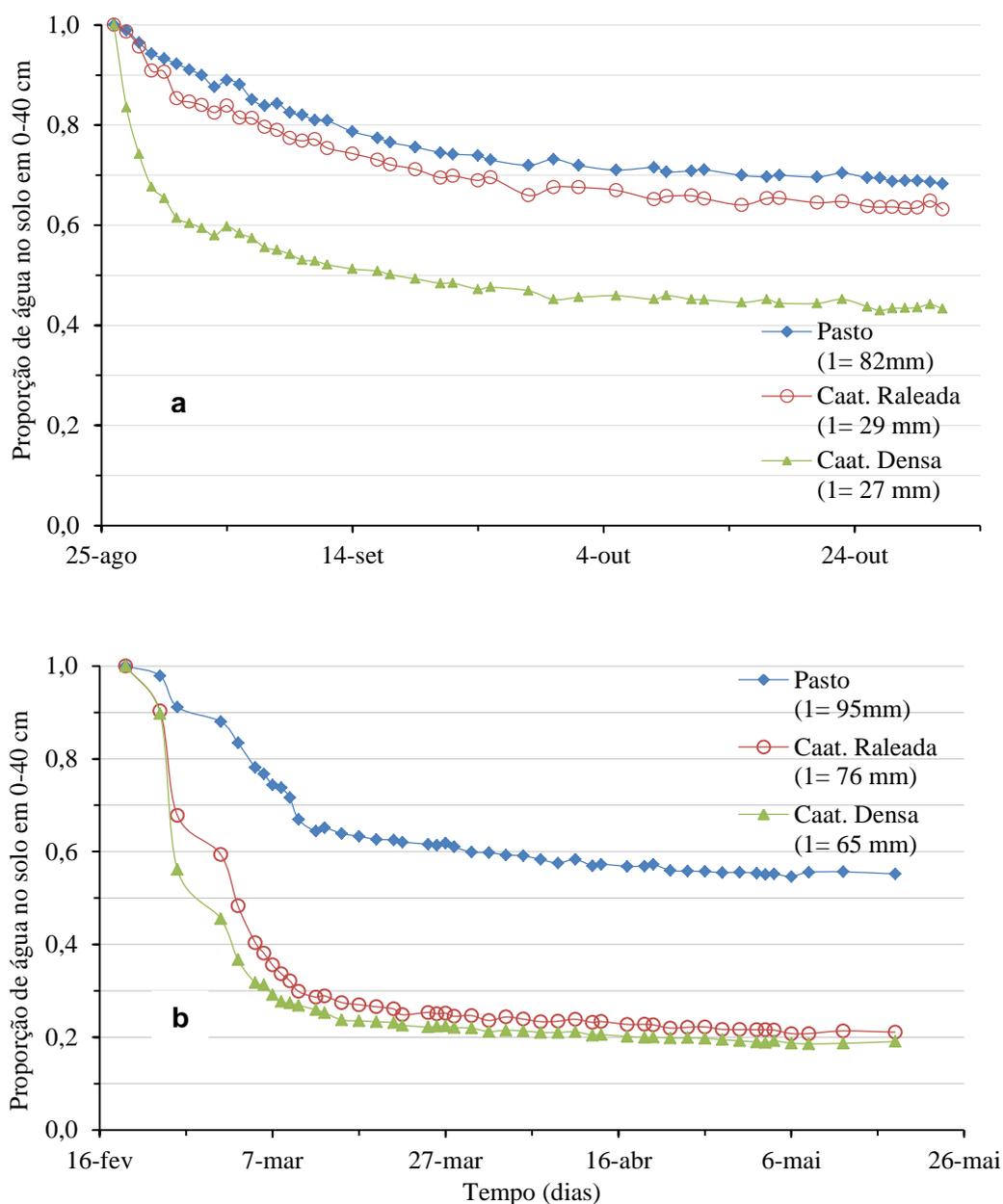


Figura 2. 12. Secagem da água no solo (0-40 cm) em três estratos vegetais e em dois períodos de estiagem. a) De 26/agosto a 31/outubro de 2011 e, b) De 23/fevereiro a 28/mayo de 2012, em Soledade, PB, Brasil.

4. DISCUSSÃO

4.1. Intensidade pluviométrica

As grandes variações dos volumes precipitados em intervalos de tempo equivalentes e épocas distintas é um fenômeno não raro nesse sítio amostral (Figura 2. 3)

e outros da região semiárida brasileira (Medeiros et al., 2009; Albuquerque & Costa, 2012; Santos & Montenegro, 2012), em que há registro de 0,2 a 300 mm h⁻¹ com obtenção dos dados a cada 5 min (Santos & Montenegro, 2012). O presente estudo, com registro a cada 30 minutos, verificou dois eventos maiores que 80 mm h⁻¹, o suficiente para iniciar o acúmulo de água na área de pasto e provocar erosão do solo nas partes mais onduladas, tendo em vista que a taxa de infiltração da água na superfície do solo (0 cm) foi de 56,7 mm h⁻¹ (Tabela 2. 2).

Em um contexto mundial de florestas secas, a ocorrência de chuvas de pequena intensidade, ≤ 5 mm, que representaram 88% dos casos nesse estudo, corroboraram os 61% observado em floresta xerófila na China (Wang et al., 2005) e os 78% em plantio de *Acacia tortilis* e *Chlorophospermum mopane* no semiárido da Índia (Khan, 1999). Por outro lado, as chuvas torrenciais observadas nesse estudo, cinco acima de 40 mm h⁻¹, são raras em outras regiões do mundo. Registros superiores a 20 mm h⁻¹ corresponderam a 5,9% dos eventos chuvosos verificados por Khan (1999) durante 4 anos consecutivos, enquanto no semiárido do Kenya e no deserto de Tengger (China), as intensidades máximas verificadas em três anos contínuos foram 15 (Jackson, 2000) e 19,5 mm h⁻¹ (Wang et al., 2005).

As baixas intensidades de chuvas favoreceram a interceptação e a evaporação de água da superfície da copa (Figuras 2. 4 e 2. 5). Em floresta tropical seca há apontamentos de interceptação total em eventos menores que 5 mm (Samba et al., 2001). As perdas por evaporação na superfície da copa estão associadas a intensidades de chuvas, formato e área das folhas, temperatura e umidade relativa do ar (Domingo et al., 1998) e principalmente a velocidade do vento (Klaassen et al., 1996; Moura et al., 2009). Nesse estudo, a velocidade do vento no momento das precipitações variou de 0 (zero) a 4 m s⁻¹, valor máximo dentro do intervalo de 1-6 m s⁻¹ observado por Klaassen et al. (1996) em floresta decídua na qual verificaram relação dependente entre o aumento da evaporação e a velocidade do vento.

4.2. Interceptação pluviométrica e precipitação efetiva

O maior acúmulo da precipitação efetiva na área de caatinga raleada, em média 87% (925 mm) da chuva acima do dossel, já era esperado, tendo em vista o espaçamento entre as copas das árvores, o que corrobora com observado em caatingas (Albuquerque & Costa, 2012) e outras fisionomias semiáridas semelhantes (Domingo et al., 1998; Wang et

al., 2005). Em contraste, na caatinga densa com bromélias a PE foi em média 40% (427 mm) do total precipitado acima do dossel. A contribuição das bromélias *Neoglaziovia variegata* e ou *Bromelia laciniosa* foi significativa na retenção da água, uma vez que na ausência delas a PE foi em média 80% (874 mm) do precipitado acima da floresta (Figura 2. 7).

O escoamento pelas folhas das bromélias não foi mensurado, mas foi observado que parte da água se infiltrou pela roseta, outra ficou retida na cora “tanque” da bromélia e uma terceira escoou para regiões próximas as suas raízes. A adaptação morfológica que faz com que a água infiltre pela roseta da bromélia pode ter contribuído significativamente para o armazenamento de água nas raízes e no solo (Cogliatti-Carvalho et al., 2010). Estas adaptações morfológicas foram descritas para algumas bromélias, inclusive *N. variegata* (Mayo, 1992) e *B. laciniosa* (Bessa, 1982). Carlye-Moses (2004) considerou em ensaio com modelagem (Gash et al., 1995) que as perdas por intercepções pelas bromélias *Agave spp* são equivalentes às ocorridas em árvores (intercepção por folhas, escoamento pelo caule e evaporação).

A quantidade (Figura 2. 7) e intensidade (Figura 2. 5) da chuva foram influentes na porcentagem de precipitação interceptada. Entretanto, as proporções de folhas das caatingas raleada e densa influenciaram nas precipitações efetivas (dado não mostrado). O início e o fim do período chuvoso foram às épocas com maior PE. No primeiro caso, as folhas das árvores e arbustos são menores e estão em crescimento, e no último, o processo de abscisão foliar aumenta o espaço livre no dossel, o que favorece o aumento da PE. Na caatinga densa com bromélias e na área com pasto, as taxas de intercepção pouco variaram entre os meses de avaliação.

Na área de pasto, em que a PE de 692 mm foi intermediária entre as duas caatingas (Figura 2. 7), a intercepção média foi de 39% (Tabela 2. 3), taxa que está dentro da faixa de 24 (Teixeira et al., 2012) a 44% (Butler & Huband, 1985) observada para outras gramíneas como cana-de-açúcar (Teixeira et al., 2012; Castilho, 2000) e trigo (Butler & Huband, 1985; Leuning et al., 1994). Ponto importante nessa avaliação da intercepção por *C. ciliaris* foi a homogeneidade da altura da planta, densidade das touceiras e a área basal, características bióticas que interferem na intercepção pluviométrica. Mas, neste estudo, tais características pouco sofreram alterações quanto ao aspecto morfológico, o que indica que para um mesmo volume e uma mesma intensidade de chuva, os volumes interceptados foram equivalentes durante o período experimental.

Dessa forma, os principais influenciadores nas taxas de interceptação foram os fatores atmosféricos como a quantidade e a intensidade das chuvas (Domingo et al., 1998) e, a velocidade do vento, temperatura e a umidade relativa do ar, sendo os três últimos responsáveis pela a evaporação da água no dossel (Klaassen et al., 1996; Raz-Yaseef et al., 2012).

4.3. Precipitação pluviométrica versus armazenamento de água no solo

As maiores precipitações efetivas observadas na área de caatinga raleada (Figura 2. 7) não provocaram incremento de armazenamento de água no solo em comparação com a área densa (Figura 2. 9c-d). A água pode ter sido infiltrada a profundidade superior a 40 cm e ou ter sido escoada em superfície. Apesar de o relevo ter apenas 2% declividade, o solo em alguns locais da caatinga raleada estava desprotegido de vegetação e de serapilheira, em que nessa condição favorece as perdas de água (Santos et al., 2009).

Os picos de estoque de água no solo foram semelhantes em ambas às caatingas (Figura 2. 11a-b), porém a secagem foi maior na área sob floresta densa (Figura 2. 12b), o que sugere terem sido as plantas o principal consumidor da água armazenada, como observado na estiagem de 29 de fevereiro a 16 de maio de 2012, período em que a maioria das espécies estava com mais da metade da copa preenchida com folhas. Nesse intervalo, o estoque de água na camada de 0 a 40 cm de solo, na área densa, caiu 83%, de 59 para 10 mm, sendo 60% decrescido na primeira semana (Figura 2. 12b). Possivelmente a água não consumida pelas plantas foi drenada verticalmente, tendo em vista que a percolação horizontal é menos representativa em função do relevo plano. Mesmo quando cerca de 90% das árvores estavam sem folhas, durante setembro e outubro de 2011, foram observadas perdas do conteúdo de água de 35% (21 para 14 mm) na caatinga densa e de 27% (40 para 29 mm) na raleada (Figura 2.11a-b). Provavelmente essa diferença de percentual está relacionada ao consumo de água pelas plantas mesmo quando não há folhas, outro meio de perda hídrica é a evaporação de água pela superfície do solo.

O menor consumo proporcional de água armazenada no solo em 0-40 cm por *Cenchrus ciliaris* (Figura 2. 21a) em comparação com a área de caatinga densa (Figura 2. 12b) pode ser atribuído a distribuição do sistema radicular, geralmente predominante nos 0-20 cm e adaptação dessa gramínea a escassez hídrica, sobretudo, à região semiárida do Brasil (Dantas Neto et al., 2000; Moreira et al., 2007; Guimarães Filho & Soares, 1995) e

de outros países (Tefera, et al., 2010; Shinde et al., 1998; Nawazish et al., 2006; Schmidt et al., 2010; SABCC, 2012). A demanda de água do *C. ciliaris* é considerada pequena em relação a outras gramíneas (Moreira et al., 2007), o que pode estar associado com a anatomia epidérmica das suas folhas, que são grossas e espessas com células buliformes maiores e de alta densidade estomática (Nawazish et al., 2006) quando comparada a de outras gramíneas (Shi-Lei et al., 2002). No entanto, em ambientes árido e semiárido a prevenção da perda de água do *C. ciliaris* sob estresse hídrico é altamente dependente das células buliformes (responsável pelo dobramento ou enrolamento das folhas, o que diminui a superfície exposta ao sol) e do tamanho dos estômatos na superfície adaxial das folhas, que quanto menor, melhor o controle de abertura de acordo com a condição ambiental (Nawazish et al., 2006).

A demanda de água pela caatinga está menos clara na literatura. Estudos em florestas tropicais sazonalmente secas apontam as estratégias fenológicas como abscisão total ou parcial das folhas (Borchert, 1994; Lima et al., 2010), e morfológicas como o sistema radicular profundo (Schenk & Jackson, 2002; Querejeta et al., 2007; Hasselquist et al., 2010) e o armazenamento de água no caule e ou nas raízes (Medina 1995, Barbosa et al., 2003) como as principais adaptações para a sobrevivência em solos com escassez de água. Tendo em vista que o solo em estudo, Planossolo Nátrico órtico, apresenta uma camada de impedimento entre 40 e 50 cm, o sistema radicular resistente e profundo parece ser crucial para a sobrevivência dessa floresta em períodos de estiagem mais prolongados (Apêndice I – Figuras 1 e 2), uma vez que o crescimento radicular correlaciona-se positivamente com a longevidade da estação seca (Schenk & Jackson, 2002).

No solo, os resultados hidrológicos imediatamente após os eventos chuvosos dependeram principalmente da estrutura do dossel, volume e intensidade da precipitação. Entretanto, a médio e longo prazo, semana e meses, o consumo hídrico de cada tipo e densidade de cobertura vegetal foi o que mais influenciou o armazenamento de água no solo. Em termos de proteção do solo, a interceptação das chuvas pelo dossel é um forte aliado, haja vista a função da copa em amenizar o impacto das chuvas torrenciais.

Os resultados dessa pesquisa podem ser úteis para a interpretação da distribuição da água pluvial em ecossistemas semiáridos, estudos do movimento da água da chuva no solo em zonas áridas, planejamento e implementação de projetos de reflorestamento da caatinga (espécies, espaçamento de plantio) e na escolha da gramínea para plantio como uso forrageiro.

5. CONCLUSÕES

Diferenças de pluviosidade de duas ou mais vezes entre dois anos consecutivos ocorreram em no máximo a cada 5 anos entre 1941 e 2012. A intensidade máxima, 85 mm h⁻¹ pode ter sido subestimada uma vez que o tempo de registro dos dados foi uma média a cada 30 minutos.

A precipitação pluviométrica durante o período experimental foi 1.060 mm entre fevereiro de 2011 e junho de 2012. Desse total, a interceptação das chuvas causada pelas caatingas foi em média 13% na raleada, 19% na densa e 60% na densa com bromélias, e no pasto *C. ciliaris* 42%.

A quantidade e o tempo de armazenamento de água no solo foram dependentes da cobertura vegetal, tendo em vista que as propriedades físicas do solo e as intempéries climáticas foram às mesmas.

6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F.N.B. & COSTA, J.S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de caatinga (Coreaú, CE). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, RS, 16 (3): 63-75, 2012.

AMORIM, L.B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após o desmatamento sem queima**. 75f. (Dissertação – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Universitária UFPE, 2003. p.657-693

BESSA, M.N. **A macambira - bromélia forrageira**. 2. ed. Natal: EMPARN, 1982. 135p.

BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, 75: 1437-1449, 1994.

BUTLER, D.R. & HUBAND, N.D.S. Throughfall e stemflow in wheat. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 35, p.329 – 338, 1985.

CARLYLE-MOSES, D. E. Throughfall, stemflow and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. **Journal of Arid Environments**, 58 (2): 181-202, 2004.

CASTILHO, C.P.G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.)**. 274f. (Dissertação - Engenharia Agrícola). UNICAMP, Campinas, 2000.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; ROCHA-PESSÔA, T.C.; NUNES-FREITAS, A.F.; ROCHA, C.F.D. Volume de água armazenado no tanque de bromélias, em restingas da costa brasileira. **Acta Botanica Brasilica** 24(1): 84-95, 2010.

DANTAS NETO, J.; SILVA, J.F.A.S.; FURTADO, D.A.; MATOS, J.A. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35 (9): 413-420, 2000.

DOMINGO, F.; SÁNCHEZ, G.; MORO, M.J.; BRENNER, A.J.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. **Agricultural and forest meteorology**, 91: 275 -292, 1998.

FLEISCHBEIN, K.; WILCKE, W.; GOLLER, R.; BOY, J.; VALAREZO, C.; ZECH, W.; KNOBLICH, K. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. **Hydrological Processes**, 19: 1355 – 1371, 2005.

FLORENTINO, A.L. **Avaliação do comportamento florístico e estrutural de Indivíduos regenerantes e adultos após 7 anos com Corte raso em uma área de**

caatinga no estado da Paraíba. 2012. 27f. (Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Florestal) ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

GASH, J.H.C., LLOYD, C.R., LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **Journal of Hydrology**, 170 (1–4), 79–86, 1995.

GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J.G.G.; RICHÉ, G.R. **Sistema caatinga-buffel-leucena para produção de bovinos no semi-árido.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 39 p. (Circular Técnica 34).

HASSELQUIST, N.J.; ALLEN, M.F.; SANTIAGO, L.S. Water relations of evergreen and drought-deciduous trees along a seasonally dry tropical forest chronosequence. **Oecologia**, 164:881–890, 2010.

HAVERKAMP, R.; BOURAOUI, F.; ANGULO-JARAMILLO, R.; ZAMMIT, C.; DELLEUR, J.W. **Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone.** In: DEULLEUR, J.W. (Ed.). CRC Groundwater Engineering Handbook, 120 p. 1998.

HERBST, M., ROSIER, P.T.W., MCNEIL, D.D., HARDING, R.J., GOWING, D.J. Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, 148: 1655–1667, 2008.

JACKSON, N.A. Measured and modelled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**, 100: 323–336, 2000.

KHAN, M.A. Water balance and hydrochemistry of precipitation components in forested ecosystems in the arid zone of Rajasthan, India. **Hydrological Sciences Journal**, 44 (2): 149-161, 1999.

KLAASSEN, W.; LANKREIJER, H.J.M.; VEEN, A.W.L. Rainfall interception near a forest edge. **Journal of Hydrology**, 185: 349–361, 1996.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA, J. M.; CUENCA, R.; BRAUD, I.; HAVERKAMP, R. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments – BEST. **Soil Science Society of American Journal**, 70: 521-532, 2006.

LEUNING, R.; CONDON, A.G.; DUNIN, F.X.; ZEGELIN, S.; DENMEAD, O.T. Rainfall interception and evaporation from soil below a wheat canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, 67: 221 – 238, 1994.

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**, 74: 1363 – 1373, 2010.

MAYO, S. J. *Neoglaziovia variegata*. The Kew Magazine, Kew, 9 (3): 124-127, 1992.

MEDINA, E. 1995. Diversity of life forms of higher plants in neotropical dry forest. Pp.221-242 in: S. H. Bullock, H. A. Mooney & E. Medina (eds.) *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Cambridge.

MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARAÚJO, G.G.L.; SILVA, G.C. Potencial de produção de capim buffel na época seca no semi-árido pernambucano. **Revista Caatinga**, 20(3): 20-27, 2007.

MOURA, A.E.S.S.; CORREA, M.M.; SILVA, E.R.; FERREIRA, R.L.C.; FIGUEIREDO, A.C.; POSSAS, J.M.C. Intercepção das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, 33(3): 461-469, 2009.

NAWAZISH, S.; HAMEED, M.; NAURIN, S. Leaf anatomical adaptations of *Cenchrus ciliaris* L. from the salt range, Pakistan against drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, 38 (5): 1723-1730, 2006.

OLIVEIRA, L.L.; FERREIRA DA COSTA, R.; SOUSA, F.A.S.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P. Precipitação efetiva e intercepção em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, 38(4): 723 – 732, 2008.

QUEREJETA, J.I.; ESTRADA-MEDINA, H.; ALLEN, M.F.; JIMENEZ-OSORNIO, J.J. Water partitioning among trees growing on shallow karst soils in a seasonally dry tropical climate. **Oecologia**, 152: 26–36, 2007.

RAZ-YASEEF, N.; YAKIR, D.; SCHILLER, G.; COHEN, S. Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. **Agricultural and Forest Meteorology**, 157: 77 - 85, 2012.

SABCC - **Southern Arizona Buffelgrass Coordination Center**. Disponível em: <http://www.buffelgrass.org/>. Acessado em 12/jan/2013.

SAMBA, S.A.N.; CAMIRÉ, C.; MARGOLIS, H.A. Allometry and rainfall interception of *Cordyla pinnata* in a semi-arid agroforestry parkland, Senegal. **Forest Ecology and Management**. V. 154, 277-288, 2001.

SANTOS, T.E.M. & MONTENEGRO, A.A.A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, 16 (8): 871 - 880, 2012.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; PEDROSA, E.M.R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, 13: 217-225, 2009.

SCHENK, H.J & JACKSON, R.B. The global biogeography of roots. **Ecological Monographs**, 72: 311–328, 2002.

SCHMIDT, S.; LAMBLE, R.E.; FENSHAM, R.J.; SIDDIQUE, I. Effect of woody vegetation clearing on nutrient and carbon relations of semi-arid dystrophic savanna. **Plant and Soil**, 331:79–90, 2010.

SHI-LEI, G. & SHENG, Z.; HONG, W. Anatomical characters of stems and leaves of three lawn grasses. **Journal of Tropical and Subtropical Botany**, 10 (2): 145-151, 2002.

SHINDE, A.K.; KARIM, S.A.; SANKHYAN, S.K.; BHATTA R. Seasonal changes in biomass growth and quality and its utilization by sheep on semiarid *Cenchrus ciliaris* pasture of India. **Small Ruminant Research**, 30: 29 -35, 1998.

SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; SANTOS, R.V.; BAKKE, I.A. Características químicas da serapilheira depositada em área de caatinga. **Revista Caatinga**, 22(1): 264-272, 2009.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA** (data analysis software system), version 8.0, 2007. www.statsoft.com.

TEFERA, S.; DLAMINI, B.J.; DLAMINI, A.M. Changes in soil characteristics and grass layer condition in relation to land management systems in the semi-arid savannas of Swaziland. **Journal of Arid Environments**, 74: 675–684, 2010.

TEIXEIRA, E.N.; MANTOVANI, E.C.; VIEIRA, G.H.S.; COELHO, M.B.; FERNANDES, A.L.T. Interceptação de água pelo dossel da cana-de-açúcar. **Irriga**, 17: 71-84, 2012.

THOMAZ, E.L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava-PR. **Geografia**, 14: 47-60, 2005.

WANG, X.P.; LI, X.R.; ZHANG, J.G.; ZHANG, Z.S.; BERNDTSSON, R. Measurement of rainfall interception by xerophytic shrubs in re-vegetated sand dunes. **Hydrological Sciences Journal**, 50(5): 897-910, 2005.

CAPÍTULO III

Potencial hídrico total em três espécies lenhosas da caatinga em função dos aspectos fenológicos, da umidade do solo e da demanda atmosférica

Potencial hídrico total em três espécies lenhosas da caatinga em função dos aspectos fenológicos, da umidade do solo e da demanda atmosférica

RESUMO

Em floresta de clima semiárido foi determinado o potencial hídrico do xilema (Ψ_w) na antemanhã (Ψ_{wa}) e diurno (Ψ_{wd}) do *Croton blanchetianus* (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (catingueira) e *Mimosa ophthalmocentra* (jurema-de-imbira) usando o método da câmara de pressão de Scholander. As leituras do Ψ_w foram ao longo de diferentes estádios fenológicos, quantidades de água armazenada no solo e demandas evaporativas, no período de fevereiro de 2011 a maio de 2012. Na antemanhã o Ψ_{wa} variou de -0,10 a -2,23 MPa em *C. blanchetianus*, de -0,23 a -2,31 MPa em *P. pyramidalis* e de -0,32 a -3,65 MPa em *M. ophthalmocentra*. No período diurno o Ψ_{wd} atingiu -5,60 MPa (*M. ophthalmocentra*) e as diferenças de Ψ_w entre as espécies foram mais frequentes, sobretudo nas horas de maior demanda hídrica. O comportamento Ψ_{wd} nas três espécies foi semelhante, iniciando o dia com os valores mais altos e diminuindo gradativamente até próximo do meio dia. Em meio as 18 avaliações (3 espécies x 6 dias) de Ψ_{wd} por horário, 78% delas apresentaram o mínimo do Ψ_w foliar entre às 11 e 14 horas e em pelo menos uma hora desse intervalo o Ψ_{wd} foi de 2 a 13 vezes inferior ao da antemanhã. O armazenamento de água no solo e o estágio fenológico foram os fatores que mais contribuíram para as variações do Ψ_w da planta. O aumento de 4 vezes no estoque de água no solo (17 para 63 mm) diminuiu em 3 a 7 vezes a tensão hídrica das plantas. No período sem folhas do *C. blanchetianus* e *P. pyramidalis* houve fraca diferença significativa do Ψ_w , tanto entre horários de medida, quanto entre as essas duas espécies. O Ψ_w total das espécies estudadas demonstrou forte relação com o estágio fenológico, sobretudo a presença ou ausência de folhas. A ocorrência do potencial hídrico do xilema ao anoitecer maior que o da antemanhã e as mudanças de Ψ_w entre horários em plantas sem folhas e sem mecanismo de respiração pela periderme são fatos que requerem mais estudos.

Palavras-chave: *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa ophthalmocentra*, semiárido, tensão hídrica.

Water potential and phenology in three woody species of caatinga according to weather and soil moisture

ABSTRACT

In forest semiarid climate was determined xylem water potential (Ψ_w) at predawn (Ψ_{wa}) and daytime (Ψ_{wd}) *Croton blanchetianus* (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (catingueira) and *Mimosa ophthalmocentra* (jurema-de-imbira) using the method the Scholander pressure chamber. The readings were Ψ_w along different growth stages, amounts of stored soil water and evaporative demands, from February 2011 to May 2012. In the predawn Ψ_{wa} ranged from -0.10 to -2.23 MPa in *C. blanchetianus*, from -0.23 to -2.31 MPa in *P. pyramidalis* and -0.32 to -3.65 MPa in *M. ophthalmocentra*. In the daytime Ψ_{wd} reached -5.60 MPa (*M. ophthalmocentra*) and Ψ_w differences between species were more frequent, especially at times of peak water demand. The behavior Ψ_{wd} the three species was similar, starting the day with the highest values and decreasing gradually until near noon. Amid the 18 ratings (3 species x 6 days) of Ψ_{wd} by time, 78% had the minimum Ψ_w between leaf at 11 and 14 hours and at least an hour of this interval the Ψ_{wd} was 2-13 times lower than of predawn. Water storage in the soil and the phenological stage were factors that contributed to the variations of Ψ_w plant. The 4-fold increase in the stock of water in soil (17 to 63 mm) decreased by 3 to 7 times the water stress in plants. During the leafless *C. blanchetianus* and *P. pyramidalis* was weak Ψ_w significant difference among both times of measurement, as between these two species. The Ψ_w total of studied species showed strong correlation with the phenological stage, especially the leaves presence or absence. The occurrence of xylem water potential at dusk higher than the predawn and changes in schedules Ψ_w between plants without leaves and without breathing mechanism by periderm are facts that warrant further study.

Keywords: *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis*, *Mimosa ophthalmocentra*, semiarid, water stress.

1. INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é o fator mais limitante para a produção de biomassa vegetal e perpetuação da espécie em ecossistemas de florestas tropicais sazonalmente secas (FTS). A vegetação de caatinga, semiárido do Brasil, é uma das 37 “Wilderness Areas of the World” (áreas desérticas do mundo) (Aguiar et al., 2002), com precipitação entre 300-800 mm ano⁻¹ e evapotranspiração acima de 1.500-2.000 mm ano⁻¹, e é comumente utilizada como fonte de forragem para animais domésticos e animais selvagens (Sampaio, 1995) e fornece lenha, carvão e ervas para a medicina popular (Sá e Silva et al., 2009).

A sazonalidade da distribuição de água, a alta temperatura, a baixa umidade relativa do ar e o curto tempo de permanência da água nas camadas superficiais do solo influenciaram as plantas arbustivas e arbóreas a evoluírem em características morfológicas e fisiológicas adequadas para a adaptação às restrições ambientais (Brodribb, 2009; Rosenthal et al., 2010; Markesteijn et al., 2010; Pineda-Garcia et al., 2011). As estratégias de adaptação a escassez de água incluem queda das folhas, área foliar limitada, sistema radicular extenso e profundo (Reich & Borchert, 1984; Murata et al., 2009; González-Rodríguez et al., 2011), deposição de cera epidérmica aliada à redução da perda de água por fechamento dos estômatos e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos (Macková et al., 2013).

A interação entre os aspectos fenológicos e fisiológicos não é bem compreendida em muitos ambientes sazonalmente secos (Holbrook et al., 1995; Lima et al., 2012). Os poucos estudos relacionados à fenologia das plantas da caatinga (Barbosa et al., 1989; Pereira et al., 1989; Machado et al., 1997; Griz & Machado, 2001; Amorim et al., 2009; Lima & Rodal, 2010; Lima et al., 2012) apontaram a precipitação como fator chave para o desencadeamento dos eventos fenológicos. Além das mensurações da precipitação foram observadas as suas consequências secundárias como as mudanças de fenofases, estado hídrico do solo e especialmente o potencial hídrico.

O potencial hídrico (Ψ_w) mede o grau de hidratação da planta, podendo ser compreendido como um indicador geral da sua saúde, fornecendo um índice relativo do estresse hídrico ao qual a planta está submetida (Scholander et al., 1965; González-Rodríguez et al., 2011). A avaliação desse potencial é útil aos fisiologistas no estudo dos processos fisiológicos e bioquímicos (Souza et al., 2010a) e aos agricultores, indicando o momento de fazer a irrigação (Kramer & Boyer, 1995; Silva et al., 2008). Aliada às avaliações da umidade do solo, considerada variável-chave para o desencadeamento das

atividades ecofisiológicas (Reich & Borchert 1984; Markesteijn et al. 2010), e das condições de déficit de pressão de vapor da atmosfera, permite uma melhor compreensão das condições hídricas da planta e de como manter e melhorar a produtividade da biomassa arbórea (González-Rodríguez et al., 2004; 2011(a); 2011(b)).

A determinação do potencial hídrico foliar ou do xilema comumente é realizada na antemanhã e ao meio do dia (Borchert et al., 2002; González-Rodríguez et al., 2004; Dombroski et al., 2011; Markesteijn et al. 2010; González-Rodríguez et al., 2011a; Borchert, 1994). Entretanto há estudos que determinaram o Ψ_w ao longo do dia com intervalos de quatro (González-Rodríguez et al., 2004) e duas horas entre as leituras (Tardieu & Simonneau, 1998; González-Rodríguez et al., 2011) do amanhecer ao anoitecer.

No atual estudo as leituras do Ψ_w foram de duas formas: 1) leituras na antemanhã (4h40 e 05h00) e 2) leituras da antemanhã (4h40 e 05h00) até o anoitecer (17h30-18h00) com intervalos de 1 hora entre as medidas. Esse menor intervalo parece ser pioneiro para medidas *in situ* em florestas tropicais secas, tendo em vista que outros estudos com intervalo menor trabalharam com observações estimada por modelos matemáticos (Zweifel et al., 2007). Estudos dessa natureza que avaliem simultaneamente o estado hídrico do solo, da planta e da atmosfera em espécies nativas em FTS são raros no mundo (González-Rodríguez et al., 2004; 2011) e desconhecidos para espécies da caatinga. Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial hídrico total do xilema na antemanhã e diurno de *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis* e *Mimosa ophthalmocentra* ao longo de diferentes estádios fenológicos com diferentes quantidades de água armazenada no solo e diferentes demandas evaporativas, em floresta sazonalmente seca do semiárido do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O estudo foi conduzido na fazenda experimental Pendência (07 10' 34''S e 36 27' 33'' W) pertencente à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S. A. (EMEPA), situada na meso-região do Cariri, Soledade, PB, Brasil (Figura 3. 1). A altitude é de 545 m com relevo plano a suavemente ondulado, com solos rasos (máximo 70 cm de profundidade), classificados como Planossolo Nátrico órtico típico. As

características físicas e químicas do solo são apresentadas na Tabela 3. 1. A vegetação é uma caatinga, floresta seca tropical, com 5.500 indivíduos por hectare (Florentino, 2012), divididas em 12 espécies arbustivo-arbórea, em que as três predominantes em ordem de abundância são *Croton blanchetianus* Muell. Arg. (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. (catingueira) e *Mimosa ophthalmocentra* Benth (jurema-de-imbira), sendo as duas últimas endêmicas da caatinga (Giulietti et al., 2002).

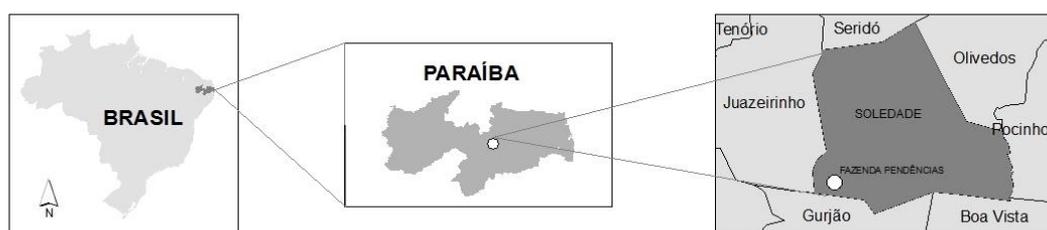


Figura 3. 1. Mapa de localização da área experimental, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

Tabela 3. 1. Características físicas e químicas do solo em área preservada da caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB.

Profund. (cm)	Física					Química			
	Ds g cm ⁻³	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Classe Textural	pH ²	P ³	K ³	Na ³
							mg kg ⁻¹		
0-10 [†]	1,43	715	106	179	Franco arenosa	6,19	3,40	80,3	11,5
10- 20	1,54	695	108	197	Franco arenosa	6,06	1,98	71,3	14,5
20-30	1,60	706	109	185	Franco arenosa	5,95	1,74	47,3	22,8
30-40	1,66	678	88	234	Franco argilo arenosa	6,03	1,53	40,5	160

[†]n=24; ²Determinado em água (1:2,5); ³Extraído por Mehlich-1.

2.2. Clima

O clima da região é classificado como Bsh Köppen, semiárido quente, com estação seca que compreende de 7 a 9 meses do ano, período chuvoso compreendido entre março e julho, média anual de precipitação de 422 mm (1941-2011), temperatura do ar de 25°C e umidade relativa do ar de 68%. Durante o período de estudo foi instalado na área experimental um tanque classe A (coeficiente do tanque, Kp=0,85) para medida da evapotranspiração potencial usando um (Allen et al., 2006) com leitura a cada 24h e uma estação meteorológica, HOBO[®] U30, para o acompanhamento da precipitação,

temperatura e umidade relativa do ar, radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e velocidade do vento, com intervalos de medidas a cada 30 min. O déficit de pressão de vapor (DPV) do ar foi calculado pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água (es), e a pressão parcial de vapor, (ea) (Pereira et al., 2002):

$$es = 0,6108 \times 10^{7,5 \frac{Tar}{237,3} + Tar} \quad (1)$$

$$ea = \frac{UR \times es}{100} \quad (2)$$

$$DPV = es - ea \quad (3)$$

Em que: es e ea expressos em kPa, Tar é a temperatura do ar, em °C, e UR é a umidade relativa do ar, em %.

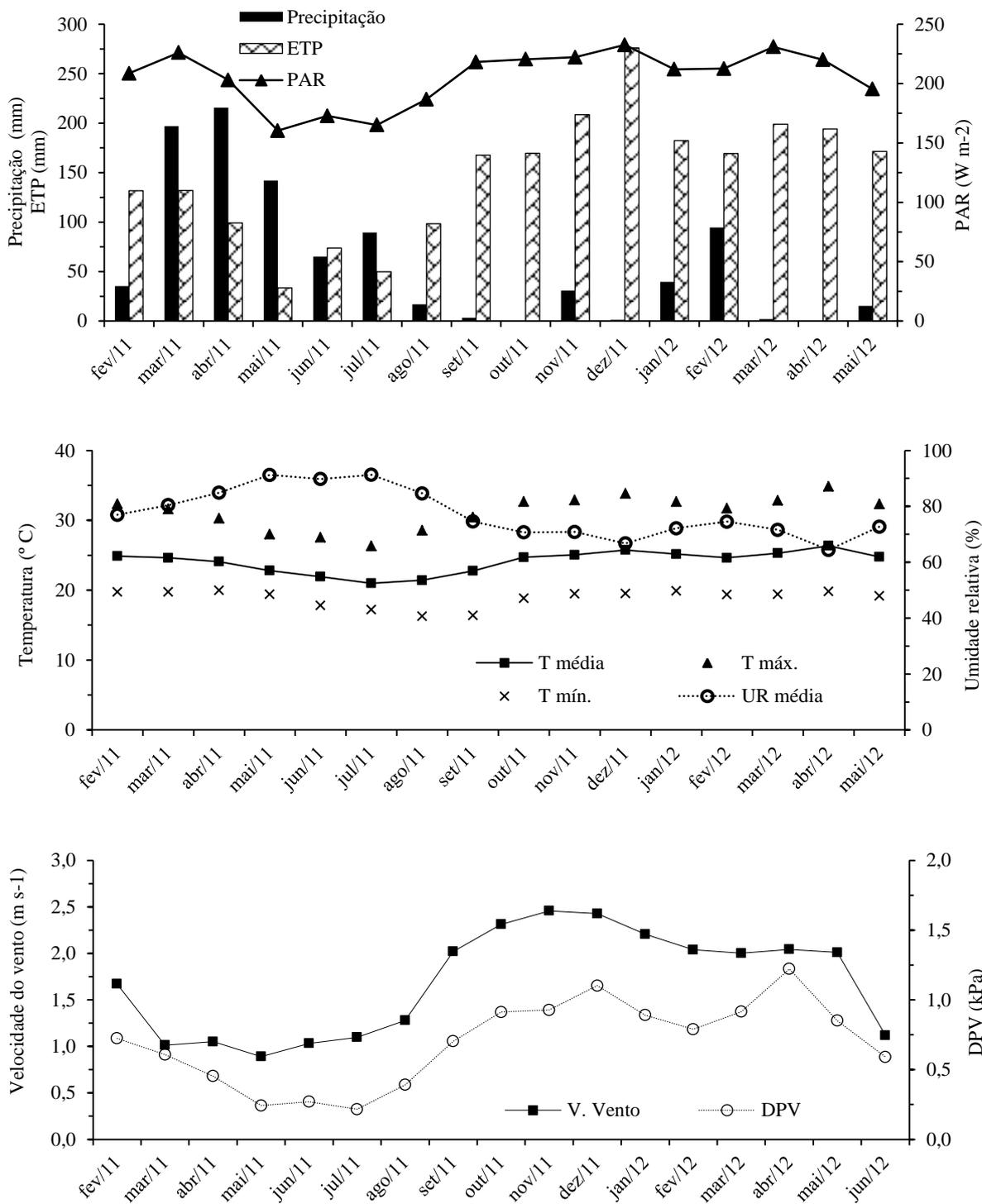


Figura 3. 2. Evolução mensal da precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (a), da temperatura e umidade relativa do ar (b) e da velocidade do vento e do déficit de pressão de vapor (DPV) de fevereiro de 2011 a junho de 2012 em Soledade, PB, Brasil.

2.3. Observações fenológicas

As observações fenológicas foram realizadas visualmente em cinco indivíduos de *C. blanchetianus*, de *M. ophthalmocentra* e de *P. pyramidalis*. Três de cada espécie foram utilizados na medição do potencial hídrico (Ψ_w) das plantas. Os registros ocorreram nos últimos sete dias que antecederam as medidas dos Ψ_w ou de forma mensal nos meses que não houve determinação do Ψ_w . Em ambos os casos, as observações consistiram de anotações em campo e fotografias. Para cada indivíduo foi estimada a proporção da área foliar (folhas novas, maduras e ou senescentes) e de flores (botão floral ou flor aberta), a partir de uma escala semi-quantitativa adaptada de Fournier (1974), em que 0% (zero) foi a ausência da fenofase e 100% a intensidade máxima. Com base nessa proporção máxima, o índice de Fournier (IF) de cada fenofase foi calculado pela equação 4, com intervalos de escala a cada 10%.

$$IF_i = \frac{\sum est}{ni} \quad (4)$$

Em que: i = fenofase folha ou inflorescência; est = estimativa em porcentagem da intensidade da fenofase (análise visual) e ni = número de indivíduos.

2.4. Determinação do potencial hídrico total em espécies arbóreas

O Ψ_w das plantas foi mensurado nas três espécies (*C. blanchetianus*, *P. pyramidalis* e *M. ophthalmocentra*), por meio da técnica da bomba de pressão, utilizando uma câmara de Scholander (Scholander et al., 1965). Foram feitos dois estudos:

Estudo 1

Neste estudo foram realizadas leituras do potencial hídrico total (Ψ_{wa}) antes do amanhecer e os resultados relacionados com as modificações no armazenamento de água do solo e com o estágio fenológico das três espécies. As leituras foram conduzidas entre às 4h40 e 05h00 durante 17 dias entre fevereiro de 2011 e maio de 2012.

As hipóteses para esse estudo foram definidas como: 1) Para um mesmo estágio fenológico e condição hídrica do solo, o Ψ_{wa} total difere (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) entre as três espécies; e 2) O estado hídrico da planta influencia as mudanças sazonais das fenofases.

As medições [(n=3x3)/espécie] foram realizadas em três indivíduos (sempre os mesmos) de cada espécie, escolhidos ao acaso antes do início do estudo. Em cada árvore

foram coletados três ramos terminais com cerca de 10 cm de comprimento na altura do segundo terço da copa. A medida do Ψ_{wa} total da planta foi realizada imediatamente após a coleta do ramo.

Estudo 2

Neste estudo, foram acompanhadas as variações diurnas do Ψ_w nas mesmas plantas e espécies do Estudo 1 durante seis dias entre fevereiro de 2011 e maio de 2012, relacionando-as com as modificações no armazenamento de água do solo, o estágio fenológico e as variáveis climatológicas, visando testar as seguintes hipóteses:

1) O potencial hídrico das três espécies é maior na antemanhã do que durante o período diurno (5h00 – 18h00); 2) Planta sem folhas apresenta Ψ_{wd} sem variações significativas (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) ao longo do dia; 3) O Ψ_{wd} das árvores com folhas tende a diminuir nos horários de alta temperatura do ar e alta PAR e DPV, e baixa umidade relativa do ar.

Nas mesmas árvores e com o mesmo procedimento de amostragem do estudo 1, as leituras do Ψ_{wd} foram realizadas da antemanhã, 4h40 - 05h00, ao anoitecer, 17h30 - 17h50 com intervalos de 1 hora a partir da leitura das 5h00 até às 17h00 e a última leitura teve intervalo entre 30 e 50 minutos, dependendo do horário do pôr do sol.

2.5. Determinação do Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo foi monitorado por meio de uma sonda FDR modelo Diviner 2000[®] de 19 de janeiro de 2011 a 27 de junho de 2012. As leituras foram realizadas por sinal de frequência de oscilação (MHz) registrado pela sonda de capacitância nas camadas 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm do solo, com uma curva de calibração para cada camada. Os valores de frequência foram transformados para conteúdo volumétrico e armazenamento de água no solo (equação 5). As medidas foram realizadas diariamente às 8h00 em oito tubos de acesso instalados a distâncias de 1 a 4 m das árvores monitoradas quanto ao potencial hídrico do xilema.

$$Arm = \int_0^z (\theta_i \cdot dz) \quad (5)$$

Em que:

Arm = armazenamento de água no solo (mm);

θ_i = umidade volumétrica média na camada ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$)

dz = camada (mm)

z = profundidade em estudo

2.6. Análises estatística

Após verificar a homogeneidade de variâncias e normalidade, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk, as médias de Ψ_w das plantas da antemanhã (Ψ_{wa}) foram comparadas entre espécies para cada data de amostragem e entre datas de amostragem para cada espécie. Para Ψ_w diurno (Ψ_{wd}) os dados foram comparados por meio de pares de interação entre data, hora e espécies, combinando uma variável dependente (Ψ_{wd}) com duas independentes (data, hora, espécie). Os dados foram testados pelo método da diferença honestamente significativa (honestly significant difference, HSD) de Tukey e considerando estatisticamente diferente a $p \leq 0,05$. Quanto ao armazenamento de água no solo, as médias foram comparadas com o Ψ_{wa} no estudo I e com Ψ_{wd} no estudo II para cada espécie estudada, usando o teste t-Student, a $p \leq 0,01$. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software Statistica 8.0 (StatSoft, 2007).

3. RESULTADOS

3.1. Observações dos aspectos fenológicos

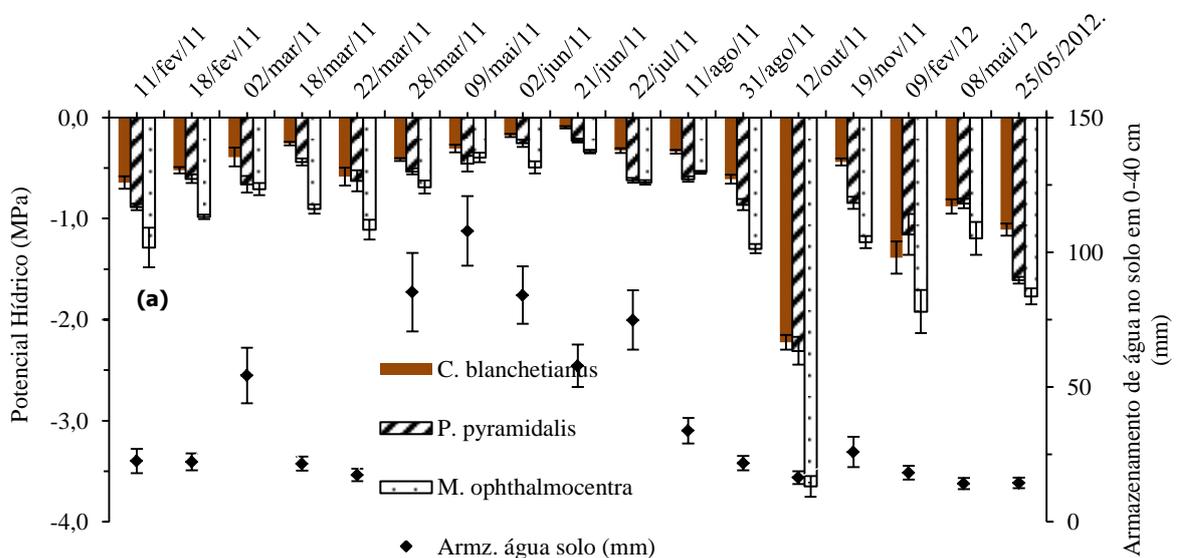
A *M. ophthalmocentra* manteve-se com folhas durante todo o período experimental, enquanto as outras duas espécies ficaram um período sem folhas: *C. blanchetianus* a partir da primeira semana de setembro de 2011 e *P. pyramidalis* a partir de outubro de 2011, permanecendo até a primeira quinzena de novembro/2011 (dado não apresentado). O máximo do IF foliar foi observado em junho de 2011 e o mínimo (zero %) em outubro de 2011 (Figura 3. 3b), enquanto o IF de flores foi máximo em fevereiro de 2011 para o *C. blanchetianus* e *P. pyramidalis*, e em Agosto de 2011 para a *M. ophthalmocentra*. Em 2012, até o final de maio não foi observado botão floral em *M. ophthalmocentra* e em *P. pyramidalis* (Figura 3. 3c).

3.2. Potencial hídrico das plantas e armazenamento de água no solo

Estudo 1: Potencial hídrico na antemanhã

A média do Ψ_{wa} variou de -0,10 a -2,23 MPa em *C. blanchetianus*, de -0,23 a -2,31 MPa em *P. pyramidalis* e de -0,32 a -3,65 MPa em *M. ophthalmocentra*, nos 17 dias de medição de fevereiro de 2011 a maio de 2012 (Figura 3. 3a). O máximo do Ψ_{wa} ocorreu no auge da estação chuvosa quando as árvores estavam com o máximo da cobertura foliar em junho de 2011 e o mínimo foi observado no auge da estação seca, em outubro de 2011. Em 2012, as chuvas foram menos frequentes e volumosas (Figura 3. 2a), resultando em valores mais negativos de Ψ hídrico total (Figura 3. 3a) e alterações nos estádios fenológicos, principalmente no reprodutivo, em comparação com o período chuvoso do ano anterior (Figuras 3. 3b-c). Diferenças significativas (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) do Ψ_{wa} entre as espécies foram observadas apenas nas amostragens de 12 de outubro de 2011 e de 09 de fevereiro de 2012, nos quais o potencial da *M. ophthalmocentra* foi inferior às outras duas espécies (Figura 3. 3a).

A estocagem de água em 0-40 cm do solo oscilou entre 14 e 108 mm. As taxas de incremento de água no solo favoreceu significativamente (test-t, $p \leq 0,01$) o aumento do Ψ_{wa} em todas as três espécies (Figura 3. 3a). A temperatura e a umidade relativa do ar, entre 4h30-5h00 foram praticamente constantes, a primeira variando de 19 a 21 °C e a segunda de 96 a 100%, exceto em 12 de outubro de 2011 quando a UR foi 90%, o que provocou um déficit de pressão de vapor de 0,24 kPa ($1 \text{ kPa} = 10^{-3} \text{ MPa}$), por outro lado, o DPV dos demais meses de avaliação foi menor que 0,09 kPa às 5h00 (dados não mostrados).



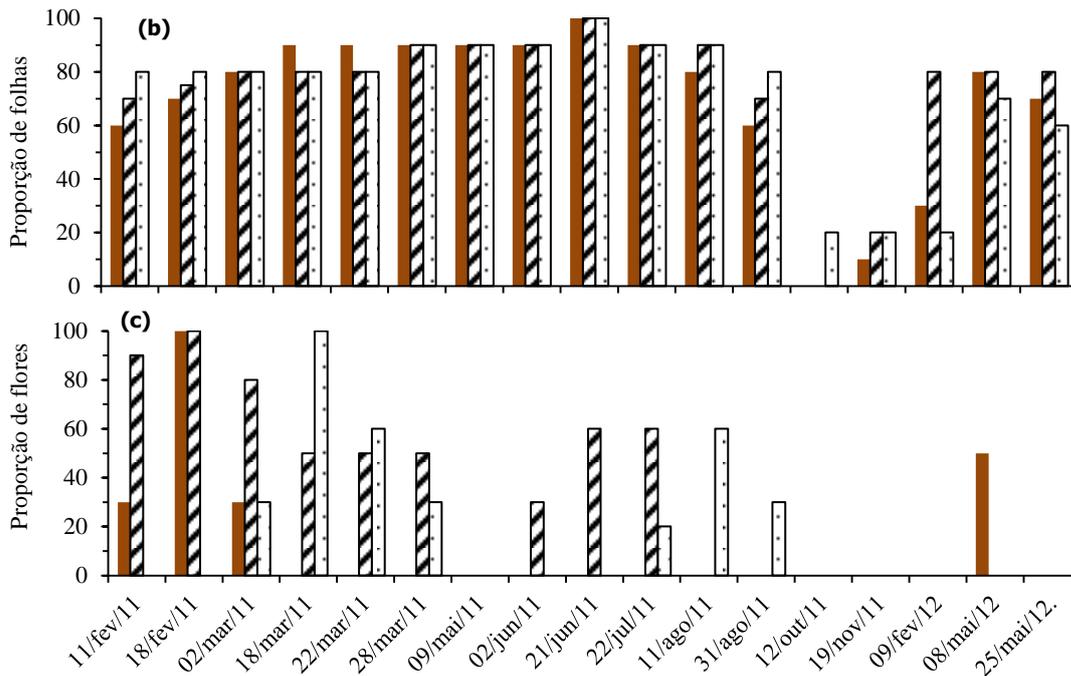


Figura 3. 3. Potencial hídrico total do xilema na antemanhã (Ψ_{wa}) de *Croton blanchetianus*, *Poincianella pyramidalis* e *Mimosa ophthalmocentra*, e o armazenamento de água de água no solo (a). Proporção de folhas (b) e de flores (c) na copa das árvores estudadas, em Soledade, PB, Brasil. Barras indicam o erro padrão.

Estudo 2: Variações diurnas no Potencial hídrico das plantas

O comportamento do Ψ_{wd} nas três espécies de plantas avaliadas foi semelhante, iniciando o dia com os valores mais altos e diminuindo gradativamente até próximo do meio dia (Figuras 3. 4a-f). Das 18 avaliações (3 espécies x 6 dias) de Ψ_{wd} por horário, 78% apresentaram o mínimo do potencial hídrico foliar entre às 11 e 14 horas e em pelo menos uma hora desse intervalo o Ψ_{wd} foi de 2 a 13 vezes inferior ao do antemanhã. Após o mínimo em torno do meio dia, o potencial voltou a subir, terminando o dia com valores de até cinco vezes maiores que o da antemanhã (Figuras 4a-f). Entretanto, valores análogos entre o Ψ_{wd} da antemanhã e do anoitecer foram observados em *P. pyramidalis* em junho de 2011 e em *C. blanchetianus* em agosto de 2011, enquanto nas amostragens de outubro de 2011 e fevereiro de 2012, o Ψ_{wd} do anoitecer foram de 10 a 20% maiores que o do amanhecer em *P. pyramidalis* e na *M. ophthalmocentra* (Figuras 3. 4a-f).

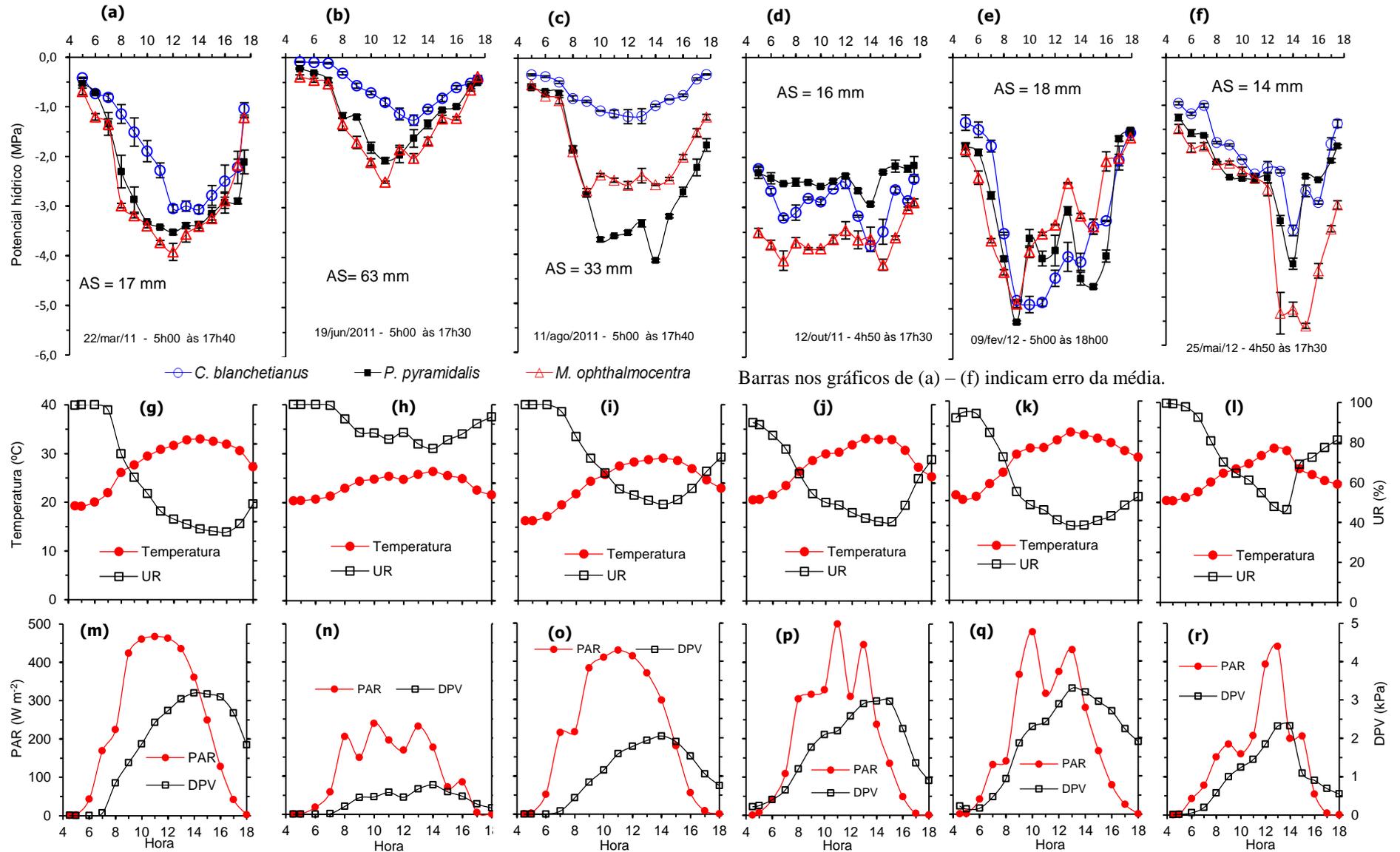


Figura 3. 4. Potencial hídrico total diurno (4h40-5h00 às 17h30-18h00) de três espécies (a-f) arbustivo-arbóreas da caatinga em seis dias com armazenamento de água no solo (AS), temperatura e umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e déficit de pressão de vapor (DPV) contrastantes, em Soledade, PB, Brasil.

A umidade do solo teve forte contribuição no estresse hídrico das espécies: a entrada de água no solo aumentou significativamente (test-t $p \leq 0,01$) o Ψ_{wd} nas plantas. No início do período chuvoso, em março de 2011, o solo apresentava 17,4 mm de água armazenada nos primeiros 40 cm e as plantas apresentavam Ψ_w em torno de -0,5 MPa antes do amanhecer (5h00), de -3,0 a -4,0 MPa às 13h00 (o valor mais baixo) e de -1,0 a - 2,1 MPa às 17h30, no pôr do sol (Figura 3. 4a). Com a incidência de mais chuvas, queda na temperatura (Figura 3. 4h) e no DPV (Figura 3. 4n), em junho de 2011, e o aumento para 63,2 mm no armazenamento médio da água no solo, o potencial aumentou de 3 a 7 vezes (Figura 3. 4b) em relação ao início da estação chuvosa. No término dessa estação, em agosto de 2011, a estocagem de água do solo apresentava valores intermediários, 33 mm, e foi observado o maior número de horas com diferenças significativas em uma mesma espécie (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) de Ψ_{wd} entre as espécies (Figura 3. 4c). No período seco, out/2011, o Ψ_{wd} das plantas foi menos oscilante, com variação máxima de 70% (-2,23 para -3,78 MPa) para *C. blanchetianus* e menos de 30% para *M. ophthalmocentra* e *P. pyramidalis*, sendo que esse último apresentou diferenças significativas (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) apenas na leitura das 13 horas (Figura 3. 4d).

No início do período chuvoso de 2012, em fevereiro, mas com 30 dias de estiagem, as plantas apresentavam folhas flácidas e desidratadas e o solo tinha 18 mm de água armazenada em 0-40 cm, situação que resultou em Ψ_{wd} de até -4,92 MPa em *C. blanchetianus* e de -5,27 MPa em *P. pyramidalis* (Figura 3. 4e). Em *M. ophthalmocentra*, o menor potencial hídrico, - 5,60 MPa, foi observado com 90 dias de estiagem (Figura 3. 4f) e 14 mm de água armazenada no solo.

A temperatura (T_a) e a umidade relativa do ar (UR) apresentaram médias de 26°C e 69% entre às 5h00 e 18h00, com a amplitude diária oscilou entre 6°C e 22% (19 de junho de 2011) a 14°C e 65% (22 de março de 2011), respectivamente (Figuras 3. 4g-l). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi mais intensa entre 9h-14h chegando a atingir 500 W m⁻² (12 de outubro de 2011) e aparentemente não apresentou relação direta com o Ψ_{wd} das árvores. O déficit de pressão de vapor (DPV) alcançou 3,3 kPa (09 de fevereiro de 2012) e foi variável com a T_a e a UR, em que a combinação máximo da T_a com o mínimo da UR do ar (Figuras 3. 4g-l) e em consequência, máximo DPV (Figuras 4m-r) refletiram-se no mínimo do potencial hídrico diurno (Figuras 3. 4a-f), coincidindo quando as espécies estavam com poucas ou nenhuma folha (Figura 3. 3b).

4. DISCUSSÃO

Estudo 1

4.1. Potencial hídrico das plantas: diferenças entre as espécies

O menor Ψ_{wa} em *M. ophthalmocentra*, seguida de *P. pyramidalis* e depois de *C. blanchetianus*, com uma mesma umidade do solo (Figura 3. 3a) e estágio fenológico (Figuras 3. 3b-c), confirma a hipótese 1, o que sugere a criação de grupos de espécies para avaliação desta variável (Borchert, 1994; Lima & Rodal, 2010; Dombroski et al., 2011). Apesar dessas três espécies se enquadrarem em um mesmo grupo de acordo com os critérios de Lima & Rodal (2010) e Lima et al. (2012), para esse caso, as variações do Ψ_w podem estar relacionadas com a área foliar (AF), tendo em vista que todos os ramos avaliados apresentavam folhas expandidas e quanto maior foi a AF maior foi o Ψ_w da planta. O menor tamanho da AF, implica, geralmente, em maior resistência ao murchamento durante a estação seca, como por exemplo, na *M. ophthalmocentra*, a única com folhas durante todo o ano (Figura 3. 3b).

Além desse mecanismo, outro importante é a densidade de madeira, apontado como o principal responsável pelas diferenças internas do Ψ_w entre espécies dentro de um mesmo ecossistema (Borchert, 1994; Lima et al., 2012). Espécies com alta densidade de madeira como *M. ophthalmocentra* (Silva et al., 2011) e *P. pyramidalis* (Silva et al., 2009), ambas com $0,94 \text{ g cm}^{-3}$ (Silva et al., 2009; Silva et al., 2011), geralmente apresentam baixo armazenamento de água nos tecidos e sistema radicular profundo em comparação com espécies de baixa densidade de madeira, $\leq 0,55 \text{ g cm}^{-3}$ (Borchert, 1994; Lima & Rodal, 2010). Vale ressaltar que as características anatômicas do lenho como comprimento e dimensão dos elementos de vaso do xilema e a altura e largura dos raios parenquimáticos, estruturas que influenciam a sobrevivência da planta à ambientes xéricos (Alves & Angyalossy-Alfonso, 2000), apresentaram dimensões semelhantes em *P. pyramidalis* (Silva et al., 2009) e *M. ophthalmocentra* (Silva et al., 2011), que por sua vez, divergem das dimensões observadas em *C. blanchetianus* (Silva, 2006). O *C. blanchetianus* tem densidade de madeira intermediária, entre $0,63$ e $0,68 \text{ g cm}^{-3}$ (Tertuliano et al., 2003), cerca de 30% menor que as outras duas espécies, implicando em paredes celulares menos espessas (Chave et al., 2009) e, em consequência, maior armazenamento de água nos tecidos e menor tensão hídrica nos vasos do xilema (Borchert, 1994; Chave et al., 2009).

Outro parâmetro morfológico que possivelmente contribui para evitar ou amenizar o estresse hídrico pelo o aumento da capacidade de absorção de água é a abundância de pequenas raízes nas primeiras camadas do solo, mais facilmente observadas no *C. blanchetianus* em relação as de *M. ophthalmocentra* e de *P. pyramidalis* (Maia, 2004). Dessa forma, a AF, a densidade de madeira e o comprimento das raízes podem ser ponderados como parâmetros que influenciam o nível de estresse hídrico da planta (Figuras 3. 3a, Figuras 3. 4a-f).

Quanto a disponibilidade hídrica do solo, as entradas de água nesse compartimento por meio de precipitações pluviométricas proporcionaram aumento do Ψ_{wa} para as plantas (Figura 3. 3a). Embora o maior e o menor conteúdo de água no solo não tenha apresentado relação direta (Tukey-HSD, $p > 0,05$) com o Ψ_{wa} , outras variáveis, podem contribuir para as alterações da tensão hídrica da planta, entre elas o estágio fenológico (Borchert et al., 2002; Lima et al., 2012) de ausência de folhas (Figuras 3. 3a-b). A importância da umidade do solo e da fenologia é evidenciada ao observar o armazenamento de água no solo em 0-40 cm de profundidade nos dias 22 de março de 2011, 12 de outubro de 2011 e 25 de maio de 2012, dias em que o estoque de água estava em torno de 20 mm e o Ψ_{wa} apresentou diferença significativa (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$), com variações de 2 a 5 vezes do Ψ_{wa} em uma mesma espécie (Figura 3. 3a). No mês de outubro de 2011 registrou-se a maior discrepância do Ψ_{wa} entre a *M. ophthalmocentra* com -3,65 MPa e o *C. blanchetianus* e *P. pyramidalis* com -2,23 MPa e -2,31 MPa, respectivamente. Esse comportamento da *M. ophthalmocentra* pode está relacionado, a princípio, com o aspecto fenológico, a única espécie entre as três a manter folhas (Figura 3. 3b) nesse mês. A presença das folhas caracteriza maior demanda hídrica por trocas gasosas e nesse caso, outubro de 2011, a temperatura (21°C), DPV (0,24 kPa) e sobretudo a UR (90%) foram menos favoráveis para o aumento do Ψ_{wa} da planta entre as 17 avaliações na antemanhã. Além da presença de folhas, outras variáveis como sistema radicular profundo (Schenk & Jackson, 2002; Frederic et al., 2005) e o baixo armazenamento de água nas raízes (Jackson et al., 2007) podem diminuir o potencial hídrico das plantas. Essa observação fenológica corrobora a hipótese (2) de que as fenofases influenciam o estado hídrico da planta.

As mudanças sazonais da proporção de folhas e de flores na copa foram menos expressivas em 2011 (Figuras 3. 3b-c), possivelmente devido ao maior volume pluviométrico e o menor intervalo entre eventos chuvosos (Figuras 3. 2a-b), por conseguinte, maior período de dias com o solo próximo da capacidade de campo. Essa combinação, volume e

regularidade de distribuição das chuvas é salutar à manutenção de qualquer ecossistema terrestre (Larcher, 2004). Nesse estudo, esse benefício das chuvas foi observado com a proporção de folhas (IF foliar) acima de 70% de março a agosto de 2011 nas árvores do *C. blanchetianus*, *M. ophthalmocentra* e *P. pyramidalis* (Figura 3. 3b), haja vista que quanto maior a proporção de folhas maior a realização de fotossíntese (Messinger et al., 2006).

Sobre a existência e duração da fenofase de florescimento no ano de 2011 estar relacionada com as precipitações, tendo em vista que as espécies emitiram flores entre fevereiro e maio, enquanto em 2012 com a irregularidade das chuvas acima do comum (Figura 3. 2a), somente o *C. blanchetianus* emitiu pendão floral no mesmo período (Figura 3. 3c). Esse comportamento pode estar associado a sensibilidade dessa espécie para a floração com grande irregularidade de entrada de água no solo (Amorim et al., 2009), 110 mm distribuídos em apenas dois eventos chuvosos, um de 95 mm em fevereiro e outro de 15 mm em maio. Outro fator pode ser a adaptação as condições semiáridas, uma vez que as espécies nativas da caatinga como *P. pyramidalis* e *M. ophthalmocentra* (Maia, 2004 Giulietti et al., 2006) retardam o estágio reprodutivo em condições críticas de água.

Estudo 2

4.2. Variações diurnas no potencial hídrico

O potencial hídrico do anoitecer (17h30-17h50) foi significativamente maior (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) que o da antemanhã em *M. ophthalmocentra* em 12 de outubro de 2011 (Figura 3. 5a) e em *P. pyramidalis* em 09 de fevereiro de 2012 (Figura 3. 5b), o que fez rejeitar a primeira hipótese desse estudo, que postulou que o Ψ_{wd} seria sempre maior na antemanhã. Essa observação contraria o cotidiano de várias espécies florestais (Zweifel et al., 2007; Markesteijn et al., 2010; González-Rodríguez et al., 2004). Entretanto, esse comportamento aparentemente anormal também foi observado em três espécies arbóreas sempre-verdes e uma decídua em floresta tropical seca no México (González-Rodríguez et al., 2011), tendo os autores apontado como o possível fato para tal acontecimento, o movimento de soluto no momento da amostragem, sendo no sentido da folha para o lenho como forma de reduzir as perdas de água e nutrientes antes da abscisão foliar em seca severa.

Por essa rara tendência ter ocorrido no momento de estiagem de chuvas e de déficit hídrico no solo, outro possível fato é que o Ψ_{wd} das plantas no momento antemanhã não tenha atingido o equilíbrio com o Ψ_w do solo, isto parece ser comum (Ourcival & Berger,

1995; Donovan et al., 1999; Donovan et al., 2001) mesmo em condições de água facilmente disponível no solo (Donovan et al., 2001) e principalmente em árvores madeireiras de ambiente semiárido, onde a transpiração noturna já foi considerada a principal responsável pelo desequilíbrio do Ψ_w do solo/planta (Ourcival & Berger, 1995; Donovan et al., 1999; Donovan et al., 2003). Entretanto, se esse fato da transpiração noturna causar menor Ψ_w na planta no momento da antemanhã (Donovan et al., 2003) for extrapolado para a *M. ophthalmocentra* e a *P. pyramidalis*, as mesmas apresentavam folhas nos dias da observação do Ψ_{wd} maior no anoitecer do que na antemanhã. A presença de folhas reforça a possibilidade da ocorrência da transpiração noturna.

Menores potenciais na antemanhã e ao meio-dia que (11-14h) (Figuras 3. 4a-f) foram observadas por diversos estudos no semiárido em período secos, com amplitudes de 10 a 100% em espécie da caatinga (Dombroski et al., 2011) e de até 300% em floresta tropical seca na Bolívia (Markesteyn et al., 2010) e no México (Borchert et al., 2002). Por outro lado, no período chuvoso, a variação do Ψ_{wd} dentro da mesma espécie parece ser menor (Markesteyn et al., 2010), e nesta época que as árvores do semiárido estão no auge da cobertura foliar e a maioria das espécies, incluindo *C. blanchetianus*, *P. pyramidalis* e *M. ophthalmocentra*, estão florando. Comumente, essas duas fenofases, vegetativa e reprodutiva, requerem maior demanda de água (Larcher, 2004; Lima et al., 2012), o que provoca maior estresse hídrico pela transpiração das plantas.

A ausência de folhas e flores, como na amostragem de outubro de 2011 em *C. blanchetianus* e *P. pyramidalis* (Figuras 3. 3b-c), não evitou que as plantas sofressem alterações significativas (Tukey-HSD, $p \leq 0,05$) do Ψ_{wd} (Figura 3. 4d), o que rejeita a hipótese 2 do segundo estudo, que as árvores sem folhas não apresentariam variações significativas do Ψ_w ao longo do dia. Tendo em vista que o principal responsável pelas oscilações diurnas do Ψ_w são as trocas gasosas pela epiderme foliar (Messinger et al., 2006), o fato desses indivíduos estarem sem folhas e sem brotos e a ausência de lenticelas nessas espécies, logo sem transpiração pela periderme, caracteriza um comportamento atípico entre as descritas em estudos sobre fisiologia e morfologia de *C. blanchetianus* (Silva, 2006; Silva, 2012) e de *P. pyramidalis* (Mansur & Barbosa, 2000; Silva et al., 2009; Silva, 2012). Sugere-se, a princípio, por se tratar de um estudo pioneiro de avaliação diurna do Ψ_w de *C. blanchetianus* e de *P. pyramidalis*, que novas pesquisas sejam realizadas em outros sítios com condições semelhantes de estresse hídrico do solo e da planta. Persistindo a observação, sugere-se que as pesquisas sejam direcionadas à fisiologia da periderme do caule.

As diferenças de Ψ_{wd} detectadas entre espécies arbustivas (Figuras 3. 4a-f) podem ser explicadas pelas diferenças fisiológicas entre eles, haja vista que as condições ambientais foram as mesmas. Apesar de algumas características fisiológicas e morfológicas serem semelhantes entre *P. pyramidalis* (Silva et al., 2009) e *M. ophthalmocentra* (Silva et al., 2011) e divergentes das de *C. blanchetianus* (Silva, 2006), outras propriedades como a resistência hidráulica da raiz e do caule (Querejeta et al., 2007; Rosenthal et al., 2010), a condutância estomática (Souza et al., 2010; Dombroski et al., 2011) e as características morfológicas de folhas e estômatos (Costa et al., 2011; Silva, 2012) precisam ser estudadas e confrontadas entre espécies.

Sobre as condições meteorológicas, a alta temperatura do ar e PAR, e a baixa umidade do ar e DPV favoreceram a diminuição do Ψ_{wd} total das espécies estudadas (Figuras 3. 4m-r), confirmando a terceira hipótese desse estudo. O alto déficit de saturação do ar acarreta em maior demanda hídrica para a planta, o que faz diminuir o Ψ_{wd} do xilema (González-Rodríguez et al., 2011). Da mesma forma, acontece com a alta incidência de radiação que provoca aumento da evapotranspiração (Reichardt & Timm, 2012), entretanto, o aumento da PAR nem sempre se reflete em menor Ψ_w de espécies de florestas secas tropicais (Silva et al., 2003).

5. CONCLUSÕES

O potencial hídrico total das espécies estudadas demonstrou ser facilmente influenciado pelo estágio fenológico, sobretudo a presença ou ausência de folhas, e pela condição hídrica do solo. Temperatura e umidade relativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa também influenciaram as leituras do Ψ_w . Entretanto, nas mesmas condições fenológicas, hídricas do solo e meteorológicas, as espécies apresentaram, em alguns momentos, comportamentos distintos do Ψ_w . Tais diferenças de potenciais podem ser atribuídas ao tamanho da área foliar e a densidade da madeira, o que enfatiza a criação de grupos de espécies com características morfológicas similares.

No período de maior escassez hídrica do solo, sobretudo nos meses de março a maio de 2012, as espécies foram capazes de explorar fontes de umidade das camadas mais profundas do solo, a fim de manter os requisitos mínimos de água para satisfazer as condições fisiológicas e morfológicas, evidenciado pela retenção das folhas e os registros dos menores Ψ_w do meio dia durante os 17 meses de avaliação.

O potencial hídrico do xilema ao anoitecer maior que o da antemanhã e as mudanças de Ψ_w entre horários em plantas sem folhas e sem mecanismo de respiração pela periderme, o qual caracterizou um comportamento atípico entre os descritos em estudos sobre fisiologia e morfologia de *C. blanchetianus* e de *P. pyramidalis*, são fatos que melhor precisam ser estudados.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR J.; LACHER, T.; SILVA, J.M.C. **The Caatinga**. In: Gil PR, ed. Wilderness – Earth's last wild places. Mexico City: CEMEX, 174–181, 2002.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje, Paper, 56).
- ALVES, S.P. & ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. **IAWA Journal**, 21(1): 3-20, 2000.
- AMORIM, I.L., SAMPAIO, E.V.S., ARAÚJO, E.L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, 33: 491–499. 2009.
- BARBOSA, D.C.A.; ALVES, J.L.H.; PRAZERES, S.M.; PAIVA, A.M.A. Dados fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área de caatinga (Alagoinha - PE). **Acta Botanica Brasilica**, 3: 109–117, 1989.
- BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, 75: 1437-1449, 1994.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica**, 34: 27-39, 2002.
- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S.L.; SWENSON, N.G.; ZANNE, A.E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, 12: 351–366, 2009.
- DOMBROSKI, J.L.D.; PRAXEDES, S.C.; FREITAS, R.M.O.; PONTES, F.M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, 77: 430 – 434, 2011.
- DONOVAN, L.A.; GRISÉ, D.J.; WEST, J.B; PAPPERT, R.A.; ALDER, N.N.; RICHARDS, J.H. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. **Oecologia**, 120:209–217, 1999.
- DONOVAN, L.A.; RICHARDS, J.H.; MATTHEW, J.L. Magnitude and mechanisms of disequilibrium between predawn plant and soil water potentials. **Ecology**, 84(2): 463–470, 2003.
- FLORENTINO, A.L. **Avaliação do comportamento florístico e estrutural de indivíduos regenerantes e adultos após 7 anos com Corte raso em uma área de caatinga no estado da Paraíba**. 2012. 27f. (Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Florestal) ESALQ/USP, Piracicaba, SP.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ H.; CANTÚ-SILVA, I.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G.; GÓMEZ-MEZA, M.V.; SARQUIS-RAMÍREZ, J.; CORIA-GIL, N.; CERVANTES-MONTOYA, J.R.; MAITI, R.K. Xylem water potentials of native shrubs from northeastern Mexico. **Acta Agriculturae Scandinavica (Soil and Plant Science)** 61: 214-219, 2011 (b)

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; CANTÚ, I.S.; GÓMEZ-MEZA, M.V.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. **Journal of Arid Environments**, 58, 483 - 503, 2004.

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; SILVA, I.C.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G.; GÓMEZ-MEZA, M.V.; MORENO, M.P.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.M. Potencial hídrico xilemático en cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, (17): 97-109, 2011(a).

GRIZ, L.M.S. & MACHADO, I.C.S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 17: 303-321, 2001.

HOLBROOK, N.M.; WHITBECK, J.L.; MOONEY, H.A. **Drought responses of Neotropical dry forest trees**. In: Bullock, S.H.; Mooney, H.A.; Medina, E. (eds.) *Seasonally dry tropical forests*, Cambridge University Press, Cambridge, England, pp 243-276, 1995.

KRAMER, P.J. & BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. 495p.

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**, 74: 1363 – 1373, 2010.

LIMA, A.L.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CASTRO, C.C.; RODAL, M.J.N.; ANTONINO, A.C.D.; MELO, A.L. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**, 26:1605–1616, 2012.

MACHADO, I.C.S., BARROS, L.M., SAMPAIO, E.V.S.B. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, 29: 57–68, 1997.

MACKOVÁ, J.; VASKOVÁ, M.; MACEK, P.; HRONKOVÁ, M.; SCHREIBER, L.; SANTRUCEK, J. Plant response to drought stress simulated by ABA application: Changes in chemical composition of cuticular waxes. **Environmental and Experimental Botany**, 86: 70–75, 2013.

MAIA, G.N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica, Leitura & Arte, 2004, 413p.

MARKESTEIJN, L.; IRAIPI, J.; BONGERS, F.; POORTER, L. Seasonal variation in soil and plant water potentials in a Bolivian tropical moist and dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, 26, 497– 508, 2010.

MESSINGER, S.M.; BUCKLEY, T.N.; MOT, K.A. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiology**, 140: 771–778, 2006.

MURATA, N.; OHTA, S.; ISHIDA, A.; KANZAKI, M.; WACHIRINRAT, C.; ARTCHAWAKOM, T.; SASE, H. Comparison of soil depths between evergreen and deciduous forests as a determinant of their distribution, Northeast Thailand. **Journal of Forest Research**, 14: 212–220, 2009.

OURCIVAL, J.M. & BERGER, A. Equilibrium between soil water potential and predawn water potential of two pre-Saharan shrub species of Tunisia. **Journal of Arid Environments** 30:175–183, 1995.

PEREIRA, R.M.A; ARAÚJO FILHO, J.A.; LIMA, R.V.; PAULO, F.D.G.; LIMA, A.O.N.; ARAÚJO, Z.B. Estudo fenológico de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. **Ciência Agrônômica**, 20: 11-20, 1989.

QUEREJETA, J.I.; ESTRADA-MEDINA, H.; ALLEN, M.F.; JIMENEZ-OSORNIO, J.J. Water partitioning among trees growing on shallow karst soils in a seasonally dry tropical climate. **Oecologia**, 152: 26–36, 2007.

REICH, P.B. & BORCHERT, R. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the Lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, 72: 61-74, 1984.

SÁ e SILVA, I.M.M.; MARANGON, L. C.; HANAZAKI, N.; ALBUQUERQUE, E.U.P. Use and knowledge of fuelwood in three rural caatinga (dryland) communities in NE Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 11:833–851, 2009.

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, 1995. p. 35-63.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339–346, 1965.

SILVA, A. C.; SILVA, A. M. DA; COELHO, G.; REZENDE, F.; SATO, F. A. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, 12: 21-25, 2008.

SILVA, E.C., NOGUEIRA, R.J.M.C., AZEVEDO NETO, A.D., SANTOS, V.F. Comportamento estomático e potencial de água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, 17: 231–246, 2003.

SILVA, L.B. **Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da caatinga nordestina e seu potencial para o desenvolvimento sustentável**. 131f. (Tese – Doutorado em Botânica). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2006.

SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 23(2): 436 - 445, 2009.

SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.(Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasílica**, 25(2): 301-314, 2011.

SOUZA, B.D.; MEIADO, M.V.; RODRIGUES, B.M.; SANTOS, M.G. Water relations and chlorophyll fluorescence responses of two leguminous trees from the caatinga to different watering regimes. **Acta Physiologiae Plantarum**, 32: 235 – 244, 2010.

TERTULIANO, S. S. X.; SILVA, J. A.; PAES, J. B.; ARAÚJO, L. V. C. Equações de massa e determinação da massa específica básica da madeira de *Croton sonderianus*. Müll.Arg. **Brasil Florestal**, 76: 15-22, 2003.

ZWEIFEL, R.; STEPPE, K.; STERCK, F.J. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. **Journal of Experimental Botany**, 58 (8): 2113–2131, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Histórico das precipitações pluviométricas de 1941 a 2012 da Fazenda Experimental Pendência, EMEPA, Soledade, PB, Brasil.

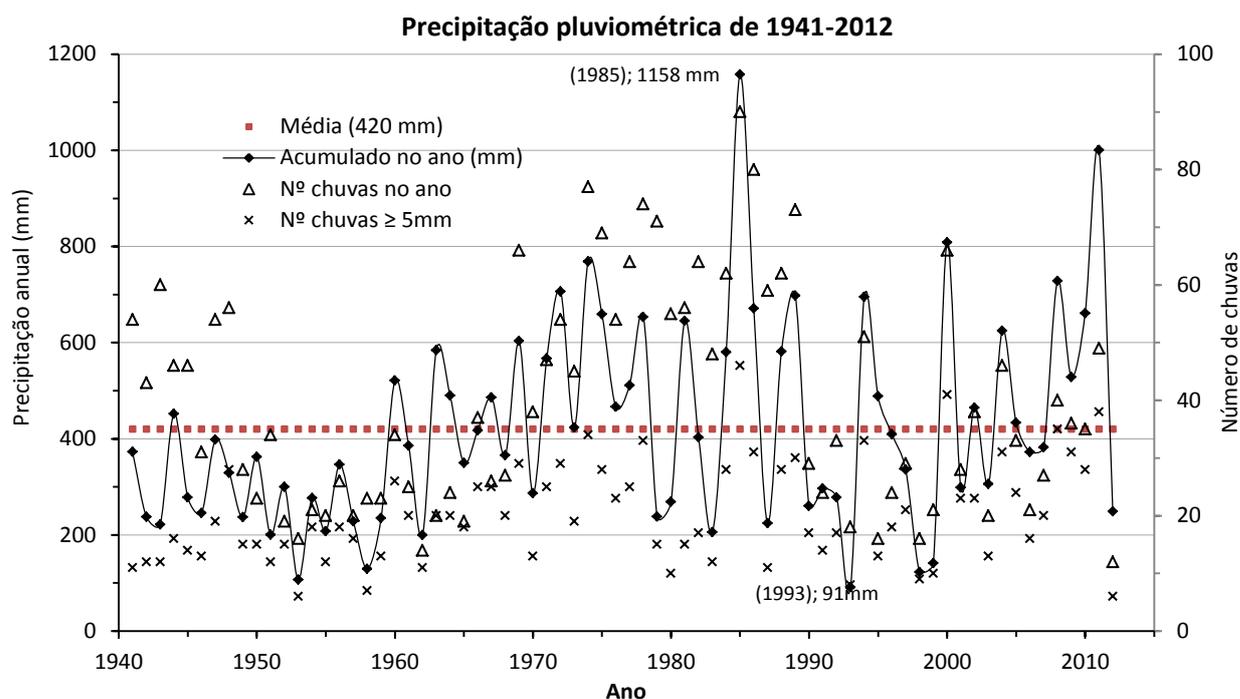


Figura 1. Precipitação pluviométrica e número de chuvas anual entre 1941 e 2012 na Fazenda Pendência da Emepa, em Soledade, PB, Brasil.

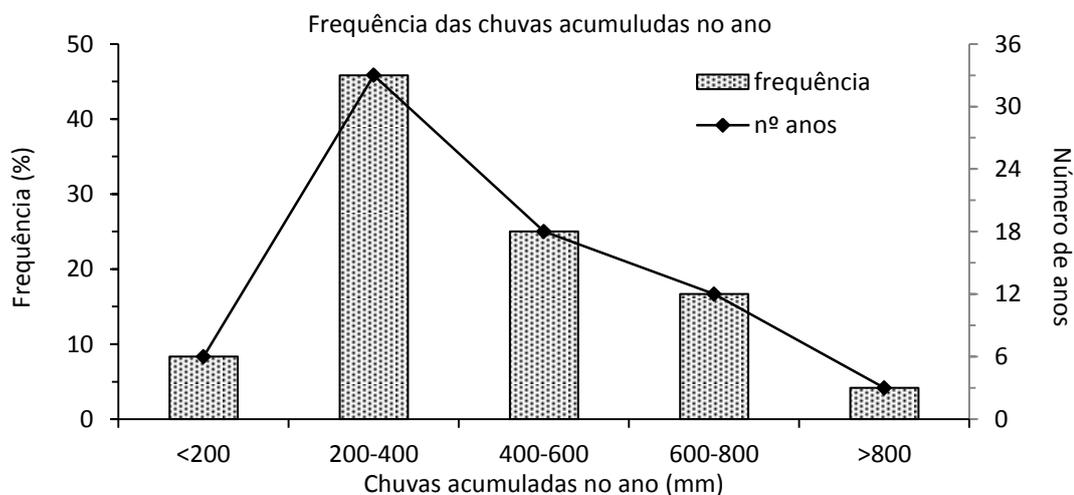


Figura 2. Distribuição da frequência de chuvas acumuladas no ano entre 1941 e 2012 na Fazenda Pendência, Emepa, Soledade, PB, Brasil. Intervalos das classes de chuvas são fechados para o maior valor.

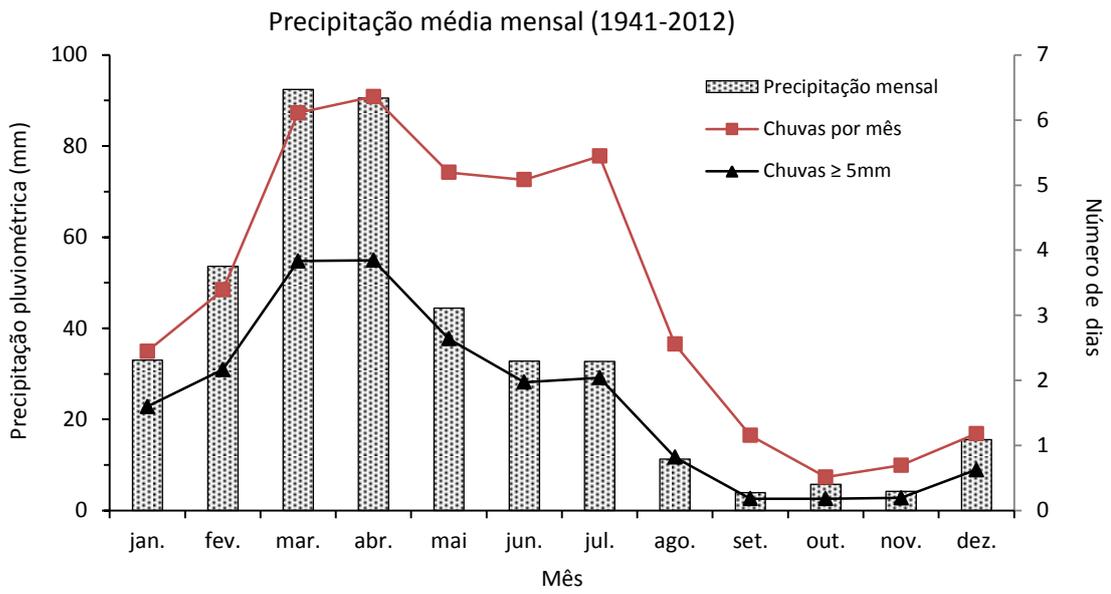


Figura 3. Precipitação pluviométrica e o número médio mensal de chuvas entre 1941 e 2012 na Fazenda Pendência da Emepa, Soledade, PB, Brasil.

APÊNDICE II

Cenchrus ciliaris L.

Conhecido mundialmente como capim-buffel é uma gramínea perene cespitosa, C4, nativo do sul da Ásia e África Oriental (Nawazish et al., 2006), utilizado como forrageira principalmente para caprinos, ovinos e bovinos (Moreira et al., 2007). Tem se destacado pela notável adaptação às condições semiáridas, associada à rápida germinação e estabelecimento, precocidade na produção de sementes e capacidade de entrar em dormência na época seca (Moreira et al., 2007), podendo se adaptar a longos períodos de estiagem e a baixos índices pluviométricos, menores que 100 mm anuais (Monção et al., 2011). É comumente encontrado em regiões semiáridas, como gramínea de nascimento espontâneo, no México (González-Rodríguez et al., 2010) e cultivada na Suazilândia (Tefera, et al., 2010), Índia (Shinde et al., 1998), Paquistão (Nawazish et al., 2006) e Austrália (Schmidt et al., 2010), podendo ser considerado um problema ambiental no sudoeste dos EUA pela facilidade de causar incêndio (SABCC, 2012). No semiárido brasileiro o *C. ciliaris* tem sido utilizado em plantios solteiros (Dantas Neto et al., 2000; Moreira et al., 2007) ou consorciado com a caatinga (Guimarães Filho & Soares, 1995).

Referências do Apêndice II

- DANTAS NETO, J.; SILVA, J.F.A.S.; FURTADO, D.A.; MATOS, J.A. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35 (9): 413-420, 2000.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ et al. Ecophysiology of the invader *Pennisetum setaceum* and three native grasses in the Canary Islands. **Acta Oecologica**, 36: 248 -254, 2010.
- GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J.G.G.; RICHÉ, G.R. **Sistema caatinga-buffel-leucena para produção de bovinos no semi-árido**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 39 p. (Circular Técnica 34).
- MONÇÃO, F.P.; OLIVEIRA, E.R.; TONISSI, R.H.; GOES, B. O capim-buffel. **Revista Agrarian**, 4(11): 258-264, 2011.
- MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARAÚJO, G.G.L.; SILVA, G.C. Potencial de produção de capim buffel na época Seca no semi-árido pernambucano. **Revista Caatinga**, 20 (3): 20-27, 2007.
- NAWAZISH, S.; HAMEED, M.; NAURIN, S. Leaf anatomical adaptations of *Cenchrus ciliaris* L. From the salt range, Pakistan against drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, 38 (5): 1723-1730, 2006.

SABCC - Southern Arizona Buffelgrass Coordination Center. Disponível em: <http://www.buffelgrass.org/> Acessado em 12/jan/2013.

SCHMIDT, S.; LAMBLE, R.E.; FENSHAM, R.J.; SIDDIQUE, I. Effect of woody vegetation clearing on nutrient and carbon relations of semi-arid dystrophic savanna. **Plant and Soil**, 331:79–90, 2010.

SHINDE, A.K.; KARIM, S.A.; SANKHYAN, S.K.; BHATTA R. Seasonal changes in biomass growth and quality and its utilization by sheep on semiarid *Cenchrus ciliaris* pasture of India. **Small Ruminant Research**, 30: 29 -35, 1998.

TEFERA, S.; DLAMINI, B.J.; DLAMINI, A.M. Changes in soil characteristics and grass layer condition in relation to land management systems in the semi-arid savannas of Swaziland. **Journal of Arid Environments**, 74: 675–684, 2010.

APÊNDICE III

Estação meteorológica automática e tanque classe A, pluviômetros e interceptômetros manuais instalados nas áreas experimentais.



Figura 1. Estação meteorológica, tanque classe A e pluviômetro artesanal na área experimental entre o pasto e a caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.



Figura 2. Transição entre a área de pasto e de caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.



Figura 3. Interceptômetro na área de pasto (*Cenchrus ciliaris* L.), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

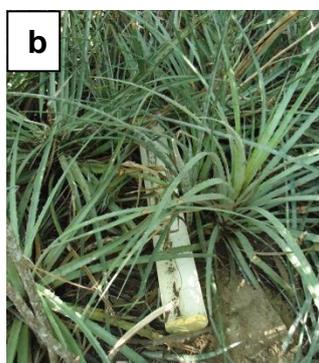


Figura 4. Interceptômetros na área de caatinga, tipo funil a 1m acima da superfície do solo (a), tipo calha rente a superfície do solo (b) e tipo funil a 10-15 cm acima da superfície do solo (c), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

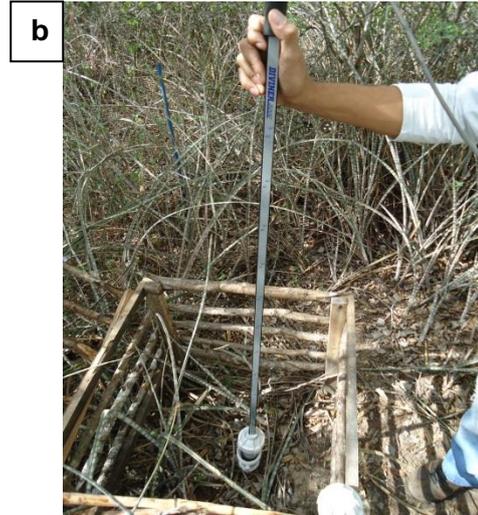


Figura 5. Pontos de monitoramento do armazenamento de água no solo, na área de pasto (a) e na área de caatinga (b), Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.



Figura 6. Determinação do potencial hídrico em área de caatinga, Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

APÊNDICE IV

Ensaios de infiltração realizados pelo método de Beerkan.

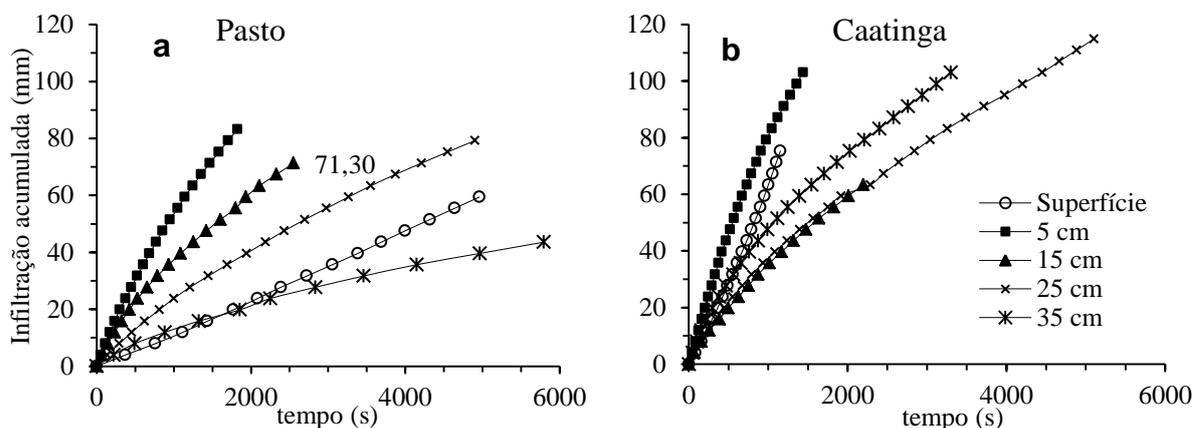


Figura 1. Curvas de infiltração acumulada (mm) em função do tempo na superfície (0 cm) e em 5, 15, 25 e 35 cm do solo, em área de pasto (a) e de caatinga (b). Fazenda Pendência, Soledade, PB, Brasil.

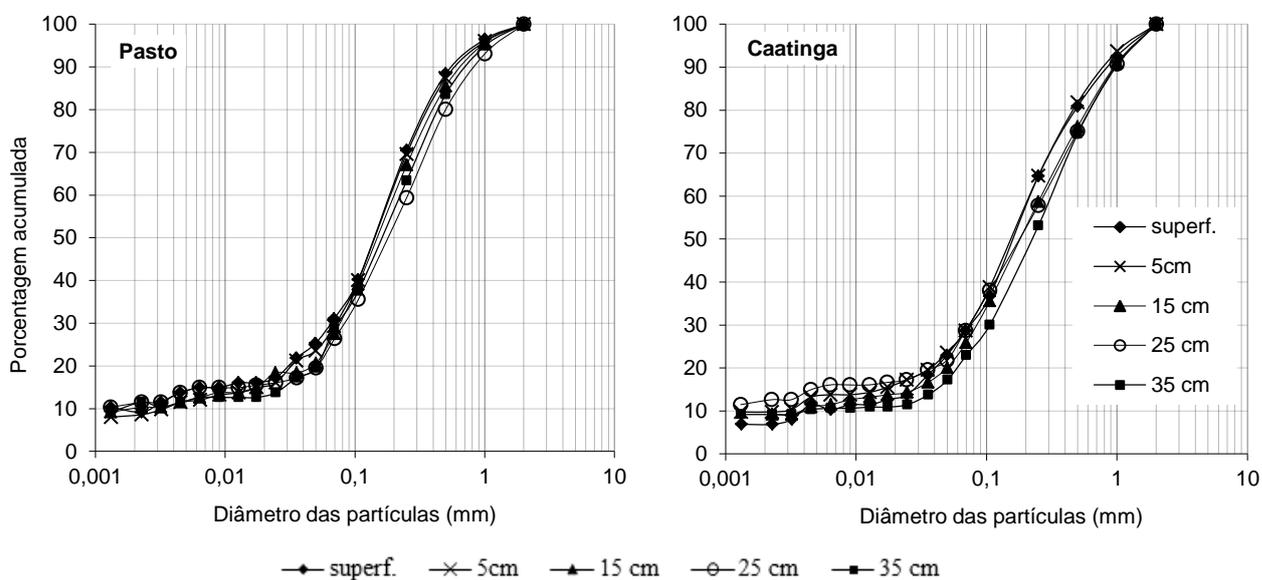


Figura 2. Curva granulométrica do solo em áreas de pasto com *Cenchrus ciliaris* e de caatinga (média das caatingas raleada e densa) na superfície (0 cm) e nas camadas 5, 15, 25 e 35 cm, em Soledade, PB, Brasil.