

HERMÓGENES MOREIRA BEZERRA CAVALCANTE

MUDANÇA DO USO DA TERRA E EFEITOS ECOHIDROLÓGICOS EM ÁREA DE
CAATINGA E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANCO

Serra Talhada-PE

2016

HERMÓGENES MOREIRA BEZERRA CAVALCANTE

MUDANÇA DO USO DA TERRA E EFEITOS ECOHIDROLÓGICOS EM ÁREA DE
CAATINGA E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANCO

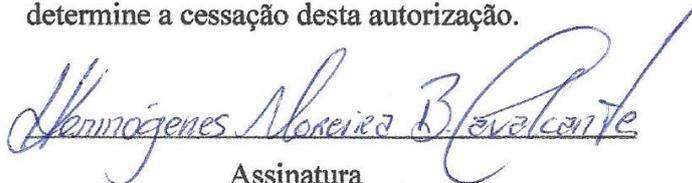
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Serra Talhada-PE

2016

Com base no disposto da Lei Federal Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. [...] Autorizo para fins acadêmicos e científicos a UFRPE/UAST, a divulgação e reprodução TOTAL, desta dissertação “Mudança do uso da terra e efeitos ecohidrológicos em área de caatinga e pastagem no semiárido pernambucano”, sem ressarcimento dos direitos autorais, da obra, a partir da data abaixo indicada ou até a manifestação em sentido contrário de minha parte determine a cessação desta autorização.


Assinatura

26/02/2016
Data

C377m Cavalcante, Hermógenes Moreira Bezerra

Mudança do uso da terra e efeitos ecohidrológicos em área de caatinga e pastagem no semiárido pernambucano / Hermógenes Moreira Bezerra Cavalcante. – Serra Talhada: O Autor, 2016.

78 f.: il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2016.

Inclui referências e apêndice.

1. Agroecossistemas - Manejo e Conservação. 2. Hidrologia. 3. Água do solo - armazenamento. I. Souza, Eduardo Soares de, orientador. II. Título.

CDD 631

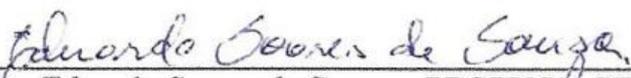
HERMÓGENES MOREIRA BEZERRA CAVALCANTE

MUDANÇA DO USO DA TERRA E EFEITOS ECOHIDROLÓGICOS EM ÁREA DE
CAATINGA E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANCO

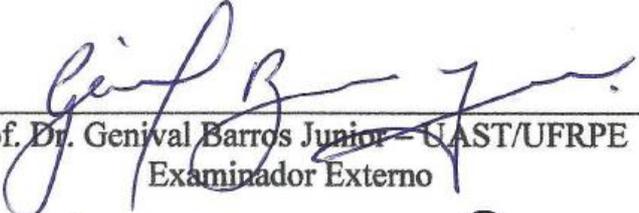
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

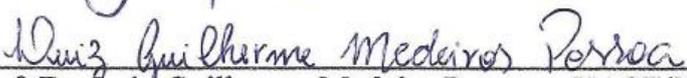
APROVADO em 26 de fevereiro de 2016

Banca Examinadora


Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza – PPGPV/UAST/UFRPE
Orientador


Prof. Dr. José Romualdo de Sousa Lima – PPGPA/UAG/UFRPE
Examinador Externo


Prof. Dr. Genival Barros Junior – UAST/UFRPE
Examinador Externo


Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa – UAST/UFRPE
Examinador Externo

Dedico este Mestrado aos meus pais, Eraldo Bezerra Cavalcante e Arleide Moreira da Costa Cavalcante, pelo incentivo e apoio em todas as minhas escolhas e decisões.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a graça de possuir a capacidade e sabedoria suficiente para poder suportar novos desafios, orientando-me nos momentos de maior dificuldade ao longo desta jornada.

A minha noiva Ana Carolina Oliveira, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis.

Aos colegas de trabalho, que através de novas informações e discussões, contribuíram para o engrandecimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PPGPV da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST, que com sabedoria e persistência, transmitiram importantes conhecimentos para a minha formação.

Em especial ao professor orientador desta dissertação, Professor Eduardo Soares de Souza, que com paciência e competência, auxiliou na condução e orientação da pesquisa sempre que necessário no redirecionamento das ações.

RESUMO

As terras áridas e semiáridas são regiões que apresentam um período duradouro de escassez de água. O semiárido brasileiro possui uma área de aproximadamente um milhão de quilômetros quadrados com cerca de 27 milhões de habitantes ocupando principalmente a região Nordeste do país. As mudanças ocorridas nesses sistemas de déficit hídrico, decorrente principalmente da exploração e degradação ambiental, têm contribuído para o processo de desertificação, para a invasão de espécies exóticas, para o surgimento de eventos climáticos extremos (chuvas intensas e secas prolongadas), para a mortalidade de árvores em larga escala, bem como para o aumento da intensidade com que esses fenômenos ocorrem. Diante disso, estudos que investiguem os efeitos da mudança do uso da terra são de fundamental importância para compreensão da ecologia em ambientes áridos e semiáridos. Desse modo o presente trabalho teve como objetivos: i) verificar a influência de uma área de Caatinga e de pastagem nos componentes do balanço hídrico; ii) quantificar a lâmina de água interceptada pelo dossel da vegetação da Caatinga e iii) aplicar um modelo de interceptação para avaliar a capacidade máxima de armazenamento de água pelo dossel da Caatinga nas estações seca e úmida. As medidas dos componentes do balanço hídrico foram realizadas entre agosto de 2014 e julho de 2015 em ambas as áreas. Durante os doze meses de estudo a precipitação pluvial total nas duas áreas ficou abaixo da normal climatológica. Na Caatinga as maiores variações da radiação solar global ocorrerão a partir do mês de outubro de 2014 até o mês de março de 2015. A temperatura média do ar indica que existe uma maior absorção de calor na área de pastagem que resultou num aquecimento do ar superior em 1,9°C ao da Caatinga. O armazenamento de água (A_z) no solo na área de Caatinga apresentou uma variação (ΔA_z) entre -10,34 e 11,78 mm, atingindo um valor total de -8,57 mm durante todo período de avaliação. Na área de pastagem o armazenamento de água (ΔA_z) variou entre -20,74 e 22,65 mm, com valor total de 3,24 mm. A precipitação interna na Caatinga correspondeu a 80,15% da precipitação externa e as perdas por interceptação representaram 19,85%. Do total de chuva que atingiu a superfície dos solos, 6,23 e 10,08% foram perdidos por drenagem ($-Q_z$), 0,37 e 5,77% foram perdidos por escoamento superficial ES e a evapotranspiração total (ETr) foi de 496,31 e 434,43 mm ano⁻¹ para Caatinga e pastagem, respectivamente. A capacidade máxima de armazenamento (S_{max}) de água do dossel da caatinga aumentou cerca de 50% na estação chuvosa em comparação com a estação seca. Com base nos dados dessa pesquisa, pode-se inferir que a substituição de vegetação nativa por pastagem interfere consideravelmente na variação dos componentes do balanço hídrico,

indicando estreita relação entre as variáveis climáticas analisadas, além de confirmar as previsões acerca dos impactos climáticos decorrentes dessa ação.

Palavras-chave: escoamento superficial, hidrologia, infiltração, armazenamento de água no solo, interceptação.

ABSTRACT

Arid and semi-arid lands are regions with a lasting period of water scarcity. The Brazilian semi-arid region has an area of approximately one million square kilometers with about 27 million people mainly occupying the northeastern region of the country. The changes in these systems of water deficit, mainly due to the exploitation and environmental degradation, in contributing to the process of desertification, for the invasion of exotic species, of the appearance of extreme weather events (intense and prolonged drought rain), for mortality of trees in a large scale, as well as to increase the intensity of these phenomena occur. Thus, studies investigating the effects of land use change are of fundamental importance for understanding the ecohydrology in arid and semi-arid environments. Thus the present work aimed to verify the influence of an area of Caatinga and pasture in the water balance components; ii) quantify the water slide intercepted by the canopy of vegetation Caatinga and iii) apply an interception model to evaluate the maximum canopy water storage capacity of the Caatinga in the dry and wet seasons. Measurements of the water balance components were carried from August 2014 to July 2015 in both areas. During the twelve months of study total rainfall in the two areas was below the climatological normal. Caatinga the greatest variations in solar radiation will occur from October 2014 to March 2015. The average air temperature indicates that there is greater heat absorption in the pasture area which resulted in higher air heating 1.9°C in the Caatinga. The water storage (A_z) in the Caatinga soil showed a variation (ΔA_z) between -10.34 and 11.78 mm, reaching a total value of -8.57 mm throughout the evaluation period. The variation (ΔA_z) in water storage in Caatinga and pasture area is ranged between -20.74 and 22.65 mm, with a total value of 3.24 mm, respectively. The internal precipitation Caatinga corresponded to 80.15% of the external rainfall and the interception losses accounted for 19.85%. The rain hits the soil surface, 6.23 and 10.08% were lost by drainage ($-Q_z$), 0.37 and 5.77% were lost by runoff (ES) and total evapotranspiration (ETr) was of 496.31 and 434.43 mm yr⁻¹ for Caatinga and pasture, respectively. The maximum water storage capacity (S_{max}) of Caatinga canopy increased by 50% in the rainy season compared to the dry season. Based on data from this study, it can be inferred that the replacement of native vegetation by grazing affects considerably the variation of water balance components, indicating a close relationship between climate variables, in addition to confirming the predictions about the climate impacts of this action.

Keywords: runoff, hydrology, infiltration, water storage in the soil, interception

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo apresentando a delimitação do município de Serra Talhada.....	21
Figura 2. Perfis de solos predominantes nas áreas de Caatinga regenerada (A) e pastagem degradada (B).....	23
Figura 3. Pluviômetro manual para monitoramento da precipitação interna em área de Caatinga	26
Figura 4. Representação gráfica da variação do armazenamento de água no solo (ΔA_z)	28
Figura 5. Esquema de determinação da variação de drenagem profunda (A) e de ascensão capilar (B) no volume do controle considerado (LVC). Adaptado de Andrade et al. (1988).....	30
Figura 6. Ensaios de infiltração com infiltrômetro de anel simples com ($D = 150$ mm)	32
Figura 7. Calha de monitoramento do escoamento superficial. Souza et al. (2015)	33
Figura 8. Instrumentação e torre micrometeorológica instalada em área de Caatinga (A) e pastagem (B)	36
Figura 9. Normal climatológica (1961-1990) da região do médio Pajeú - PE (Fonte: Pereira et al., 2014) e distribuição anual da umidade relativa do ar e precipitação pluvial nos anos de 2014 e 2015 em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE.....	38
Figura 10. Variação sazonal da radiação global (R_g), temperatura média do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluvial (P) e armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm (A_z) em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE.....	39
Figura 11. Variação sazonal da radiação global (R_g), temperatura média do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluvial (P) e armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm (A_z) em área de pastagem no município de Serra Talhada - PE.....	41
Figura 12. Variação sazonal da evapotranspiração de referência na área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada – PE.....	43
Figura 13. Chuva e NDVI da Caatinga durante o período de monitoramento da interceptação da chuva	47
Figura 14. Chuva versus interceptação e modelo ajustado para as estações seca e úmida da área de Caatinga.....	48

Figura 15. Efeito dos parâmetros S_{max} e k na interceptação de um evento de 30 mm chuva (A) e potencial de interceptação de chuva nas estações seca e chuvosa. Pontos vermelhos em A representam os parâmetros ajustados para caatinga de Serra Talhada nas estações seca (triângulo) e chuvosa (quadrado).....	50
Figura 16. Precipitação externa, interna e interceptação das chuvas em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE	52
Figura 17. Aspecto da vegetação no período seco na área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE.....	53
Figura 18. Variação do armazenamento de água no solo em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE	54
Figura 19. Curva de retenção de água no solo para área de Caatinga (A) e pastagem (B) no município de Serra Talhada - PE	58
Figura 20. Potencial total (Ψ_t) em função da profundidade (z) nos dias 17 e 22/11/2014 para a Caatinga e 17 e 23/11/ 2014 para a pastagem.....	59
Figura 21. Variação do fluxo de drenagem e ascensão capilar (q_z) no volume de controle ($z = 0,30$ m) nas áreas de Caatinga e Pastagem	60
Figura 22. Distribuição mensal do fluxo vertical (Q_z) de água no solo na área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE.....	61
Figura 23. Escoamento superficial de água no solo em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE.....	62
Figura 24. Evapotranspiração real em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das principais espécies presentes na área de Caatinga.....	22
Tabela 2. Principais atributos físicos do perfil descrito em área de Caatinga e pastagem	45
Tabela 3. Atributos químicos dos solos nas áreas de Caatinga e pastagem	46
Tabela 4. Parâmetros de ajuste do modelo de interceptação para Caatinga no período seco e período chuvoso	48
Tabela 5 Valores mensais da precipitação externa (P_e), precipitação interna (P_i) e interceptação (I) em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE	50
Tabela 6. Comparação da precipitação interna e perdas por interceptação, em regiões com diferentes tipos de cobertura vegetal.....	52
Tabela 7. Parâmetros da curva de retenção de água no solo obtidos pela metodologia Beerkan para área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1 ÁREAS DE ESTUDO	21
2.2 HISTÓRICOS DAS ÁREAS	22
2.3 SOLOS DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS	23
2.3.1 Propriedades físicas e químicas dos solos	23
2.4 DETERMINAÇÕES DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO	24
2.4.1 Medidas de precipitação e interceptação das chuvas	25
2.4.1.1 Modelo de interceptação da Caatinga	26
2.4.2 Armazenamento de água no solo (A_z)	27
2.4.3 Fluxo vertical de água no solo (Q_z)	29
2.4.4 escoamento superficial (ES)	33
2.4.5 Evapotranspiração (ET)	34
2.4.5.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)	34
2.4.5.2 Instrumentação meteorológica	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	37
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS	44
3.3 BALANÇO HÍDRICO	46
3.3.1 Precipitação e interceptação das chuvas	46
3.3.2 Variação do armazenamento de água no solo (ΔA_z)	54
3.3.3 Fluxo vertical de água no solo (Q_z)	56
3.3.4 escoamento superficial (ES)	62
3.3.5 Evapotranspiração real (ET _r)	64
4 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

As terras áridas e semiáridas são regiões que apresentam um período duradouro de escassez de água. Essa condição limitante se dá principalmente em função do reduzido volume de chuvas que ocorrem nesses locais, característica peculiar a essas regiões. Essas áreas cobrem de 35-45% da superfície terrestre (ASNER et al., 2003; REYNOLDS et al., 2007) e representam aproximadamente 42 milhões de Km² que abrigam uma população estimada em 630 milhões de habitantes (OLIVEIRA et al., 2010).

No Brasil, a região semiárida possui uma área de aproximadamente um milhão de quilômetros quadrados e uma população com cerca de 27 milhões de habitantes (entorno de 12% da população) ocupando principalmente a região Nordeste do país com os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais (região Sudeste), sendo considerada uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo (MMA, 2014; TADEU, 2012). O semiárido brasileiro apresenta um intenso clima sazonal com temperaturas médias anuais elevadas de 26° a 28°C, período de chuvas limitado que duram de três a quatro meses, seguido de um extenso período de estiagem que dura de oito a nove meses (NIMER, 1989).

A classificação das regiões áridas e semiáridas ou subúmidas secas é fundamentada na relação entre duas variáveis climáticas que determinam o índice de aridez: regime hidrológico (chuvas e evaporação) e temperatura (WANG et al., 2012a). São locais que apresentam clima quente e seco, elevada demanda evapotranspirativa (aproximadamente 2700 mm/ano) e predomínio de solos rasos, que no geral possuem baixa capacidade de reter a umidade do solo (SILVA & GUIMARÃES FILHO, 2006).

Nestas regiões, a temperatura, a radiação solar e a quantidade de nutrientes variam pouco durante o ano e a precipitação geralmente ocorre em eventos descontínuos, sob a forma de pulsos de curta duração (NOY MEIR, 1973). Esses eventos de precipitação não são espaçados e uniformes no tempo, sendo que, a possibilidade de ocorrência desses eventos cresce durante a estação chuvosa (LOIK et al., 2004).

De acordo com Moreira et al. (2006), os mais altos índices de exploração e degradação de ecossistemas em função do uso insustentável dos recursos naturais se encontram nessas regiões. As mudanças ocorridas nesses sistemas de déficit hídrico têm contribuído para o processo de desertificação, para a invasão de espécies exóticas, para o surgimento de eventos climáticos extremos (chuvas intensas e secas prolongadas), para a mortalidade de árvores em larga escala, bem como para o aumento da intensidade com que esses fenômenos ocorrem

nessas áreas. Mudanças desse tipo e com a magnitude que vêm ocorrendo são responsáveis pelas transformações nos processos dos ecossistemas semiáridos. Tais modificações têm sido intensificadas tanto pelas transformações da paisagem como pelas mudanças climáticas (WILCOX et al., 2012).

A complexidade nas mudanças transformadoras da paisagem e do clima soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão. A elaboração de estratégias adequadas que possam contribuir para uma melhor gestão, compreensão e controle desses efeitos é uma prioridade fundamental para os estudiosos da ecohidrologia nas próximas décadas (WILCOX, 2010).

No geral, em função da baixa disponibilidade de água, as regiões áridas e semiáridas apresentam um baixo funcionamento biológico. Estes sistemas são caracterizados por grandes pulsos de atividade quando a água torna-se disponível, podendo as taxas resultantes da atividade biológica, ultrapassar as taxas dos ambientes mais úmidos (JENERETTE et al., 2008). Os pulsos de chuva influenciam todos os níveis tróficos e toda cadeia alimentar, tendo em vista que há uma resposta mais intensa ao ritmo biológico das plantas de muitas espécies (crescimento e reprodução) no período chuvoso (CHESSON et al., 2004; ARAÚJO & FERRAZ, 2003).

Nas florestas secas, por exemplo, os processos ecológicos responsáveis pela conservação da biodiversidade são diversificados e influenciados por diferentes componentes ambientais, onde a variabilidade do regime hídrico representa o de maior impacto para compreensão do funcionamento do ecossistema. Um bom exemplo de floresta seca na região Nordeste do Brasil é a vegetação da Caatinga (ARAÚJO et al., 2007). O Bioma Caatinga está incluso nas florestas secas que representam cerca de 42% das florestas tropicais e subtropicais de toda superfície do globo terrestre. Em função de sua cobertura vegetal ser constituída principalmente por árvores e arbustos de porte baixo, a Caatinga é classificada como uma floresta arbórea ou arbustiva. É um bioma que apresenta grande biodiversidade, geralmente com forte presença de arbustos, cactos e bromélias (MMA, 2014; LEAL et al., 2003).

Esse bioma representa cerca de 80% de toda cobertura vegetal da região semiárida (SILVA & GUIMARÃES FILHO, 2006). A Caatinga é conhecida também como floresta branca (do tupi: caa (mata) + tinga (branca) = mata branca). A origem desse nome se dá em função de uma paisagem esbranquiçada característica da vegetação durante o período seco do ano.

A Caatinga, assim como outros biomas, tem sido afetada por um intenso processo de devastação provocado pelo uso insustentável dos recursos naturais. A retirada sistemática da vegetação para a produção de carvão e o desenvolvimento de atividades agropecuárias são ameaças constantes e vêm contribuindo para a existência de mosaicos com diferentes fisionomias na cobertura vegetal que se encontra em diferentes estágios de sucessão secundária (LEAL et al., 2003).

Por questões históricas, econômicas e culturais, a atividade agropecuária na região semiárida Nordestina é comum e, na maioria das vezes, é desenvolvida sem adotar nenhuma prática de conservação. Segundo Cândido et al. (2005), a pecuária é considerada uma atividade básica das populações rurais que vivem distribuídas nos 95 milhões de hectares do semiárido brasileiro, principalmente em função das características edafoclimáticas favoráveis a essa prática.

A pastagem é outro fragmento encontrado na paisagem semiárida brasileira e que, na maioria das vezes, encontra-se em processo de degradação. Segundo Dias-Filho (2014), cerca de 20% das pastagens naturais e plantadas encontra-se em processo de degradação ou simplesmente já estão degradadas, totalizando uma área de 680 milhões de hectares em toda superfície terrestre (BROWN, 2007).

As principais causas da degradação de pastagens em termos globais são atribuídas à ação antrópica direta, ou seja, a manipulação inadequada dessas áreas, principalmente no que se refere à quantidade de animais colocados por área, impondo uma condição em que o pasto perde sua capacidade de se recuperar do pastejo e do pisoteio dos animais (FAO, 2009).

Silva et al. (2015) comentam que além do manejo inadequado, a degradação é fortemente influenciada pelos fatores bióticos e abióticos. Ainda segundo esses autores, outra prática comum que influencia significativamente na degradação das pastagens é a utilização do fogo que promove uma redução drástica nos teores de nutrientes dos solos.

No Brasil, a área total de pastagens naturais e plantadas é de 172,3 milhões de hectares (DIAS-FILHO, 2014). De acordo com estimativas do último Censo Agropecuário Brasileiro (IBGE, 2007), entre os anos de 1975 e 2006, as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste do país apresentaram uma redução de 32,2, 14,3 e 7,3% da área de pastagem respectivamente, enquanto que as regiões Norte e Nordeste tiveram um aumento de 517,9 e 6,6%, respectivamente.

Com exceção da região semiárida do Norte de Minas Gerais que apresenta uma extensa área de pastagem plantada, o restante do semiárido brasileiro possui uma área

considerável destinada às pastagens nativas. Cerca de 40% dos municípios dos Estados de Alagoas e Sergipe apresentam uma maior área de pastagem plantada do que de pastagem nativa. Já os outros Estados apresentam uma proporção menor que 20%. Dentre os Estados que compõe a região semiárida brasileira, o Estado da Bahia e Alagoas destacam-se com uma cobertura de pasto acima de 30%, além do Estado de Pernambuco com 10% (GIULLIETE et al., 2004).

A pecuária, introduzida por volta de 1963, foi uma das primeiras atividades econômicas desenvolvida na região semiárida do Brasil. A extração de madeira para fins energéticos, o desmatamento, a realização de queimadas na agricultura migratória e a exploração da Caatinga pela pecuária, são algumas das práticas comuns na região, que, normalmente, não levam em consideração os danos ambientais e o tempo de recuperação da vegetação (MATA et al., 2015) sendo responsáveis pela destruição de aproximadamente 45,39 % da vegetação natural da Caatinga segundo Dalmolin & Caten (2012).

Essas mudanças provocadas pela conversão do uso da terra e uso insustentável dos recursos naturais, quando associadas às condições edafoclimáticas dessas regiões, afetam diretamente o equilíbrio e o funcionamento dos ecossistemas. Por exemplo, a alteração da cobertura vegetal provoca um aumento no processo de erosão e perda de solo por escoamento, além de modificar a quantidade e tipos de organismos de um determinado local, afetando também a matéria orgânica do solo e a disponibilidade de água em todos os sistemas naturais e manejados (SILVEIRA et al., 2000; JACKSON et al., 2009). Com o passar do tempo, essas características (físicas e biológicas), bem como a produtividade e a capacidade de se recuperar dos ecossistemas (sua resiliência), também tem sido drasticamente afetadas pelas mudanças no uso da terra.

A cobertura vegetal é o agente protetor do meio ambiente, evita, por exemplo, que as gotas das chuvas atinjam de forma direta o solo provocando a fragmentação das partículas, impede a compactação dos solos, promovendo desta forma um aumento na capacidade de infiltração e difusão do fluxo de água das chuvas, o que favorece uma maior atividade biológica entre raízes e organismos, melhorando as condições de permeabilidade do solo (COELHO et al., 2015).

As copas das árvores, através da interceptação, atuam como um sistema de amortecimento e redistribuição da água da chuva, modificando consideravelmente a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração (OLIVEIRA JÚNIOR & DIAS, 2005). A quantificação da água interceptada pela cobertura vegetal é uma consideração importante,

principalmente nos ambientes em que a umidade do solo é um fator limitante (CARLYLE-MOSES, 2004). A interceptação é influenciada por diversos fatores, dentre eles podemos destacar a forma, a densidade e o declive da superfície, bem como o tipo e as características físicas da chuva (ALBUQUERQUE & COSTA, 2012).

Carlyle-Moses (2004) realizou experiências em ambientes áridos e semiáridos e verificou que nesses ambientes existem perdas de grande importância hidrológica. A ausência de dados sobre interceptação da chuva pela vegetação pode levar a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuirão para a reposição da umidade disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico (VIEIRA & PALMIER, 2006). A interceptação vegetal é uma variável de grande importância que precisa ser discutida e estudada, pois, existe a necessidade de se conhecer qual a influência dessa perda na relação solo-planta-atmosfera principalmente quando se trata de ambientes onde a água é o principal fator limitante.

Uma das práticas de maior impacto ambiental exercidas pelo homem e que estão envolvidas no processo de mudança do uso da terra é o desmatamento (FERREIRA et al., 2005). Por provocar um desequilíbrio nas propriedades físicas, químicas e biológicas, essa ação trás consigo alguns efeitos prejudiciais, dentre eles, a degradação dos solos, perda da biodiversidade, mudanças climáticas e hidrográficas, visto que, a vegetação é essencial na manutenção do microclima, principalmente no processo hidrológico da bacia hidrográfica (SILVA et al., 2015).

Compreender essas modificações e os efeitos decorrentes da alteração na cobertura vegetal nativa, principalmente em regiões de disponibilidade hídrica escassa (ambientes áridos e semiáridos) é extremamente importante, pois, a vegetação influencia fortemente o ciclo da água, uma vez que, o funcionamento dos processos ecológicos é dependente da interação que existe entre a vegetação e a umidade do solo (YANG et al., 2014).

Por exemplo, Hupet & Vancloster (2002) verificaram que a vegetação através da evapotranspiração influencia diretamente a dinâmica temporal da umidade do solo, o tipo de vegetação também interfere de forma significativa na variação e distribuição espacial da umidade do solo (CHEN et al., 2007; VIVONI et al., 2008).

O entendimento e a compreensão do comportamento hidrológico dessas regiões são extremamente difíceis, principalmente em função da irregularidade das chuvas e baixo índice pluviométrico, dos períodos de estiagem e das características de clima e vegetação que tornam a hidrologia desses locais mais complexa (MONTENEGRO & RAGAB, 2012), além da inter-relação destes com a vegetação.

Estudos dessa natureza, onde se busca entender as relações entre solo-água-planta-atmosfera em diferentes escalas de tempo e espaço, é tendência atual na comunidade científica. Cada vez mais se busca entender as inter-relações entre hidrologia-biota a partir do estudo dos fatores e processos interativos presentes nos ecossistemas, tendo como principal foco, desenvolver estratégias de mitigação dos efeitos da ação antrópica e a conservação dos recursos hídricos (RODRIGUEZ - ITURBE, 2000; MORAES, 2009).

Dentro desse contexto, surgiu uma nova abordagem nas ciências ambientais, a Ecohidrologia, uma ciência relativamente recente que promove a integração entre a hidrologia e a ecologia para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Geralmente essas áreas da ciência são pesquisadas e estudadas de forma fragmentada, mas que estão extremamente relacionadas, apresentando interação e interferência recíproca entre as variáveis ecológicas e hidrológicas, ou seja, tanto os processos ecológicos influenciam o sistema hidrológico, quanto os hidrológicos interferem no sistema ecológico.

Rodriguez-Iturbe (2000) define a Ecohidrologia como uma ciência que enfatiza a interação existente entre as plantas e o ciclo da água, uma vez que, essa relação é um dos principais fatores responsáveis pelo equilíbrio e por algumas das diferenças classificatórias que existem entre os diversos biomas. Dessa forma, o objetivo dessa ciência é entender as características do clima, do solo e da vegetação (fatores responsáveis pela formação de um bioma) e relacionar a dinâmica hidrológica a uma resposta espaço-temporal da vegetação numa certa região.

De acordo com Kundzewicz (2002), o estudo ecohidrológico de uma determinada região deve enfatizar variáveis que realmente promovam alterações na dinâmica dos ecossistemas. O autor sugere que a umidade do solo e a vegetação sejam os dois temas centrais da Ecohidrologia, onde o primeiro é a variável principal do ciclo hidrológico e o último representa o componente fundamental dos ecossistemas terrestres.

A compreensão dos principais processos e das interações Ecohidrológicas permite o desenvolvimento de ferramentas adequadas e mais eficientes que contribuem para utilização dos recursos naturais de forma mais sustentável, principalmente em regiões áridas e semiáridas. A elaboração de estratégias de gestão, informando como trabalhar com os efeitos provenientes das modificações paisagísticas e as alterações climáticas são prioridades para os ecohidrologistas nos próximos anos (Wilcox, 2010).

Dessa forma, é extremamente importante a realização de estudos que quantifiquem os efeitos ecohidrológicos provenientes da alteração no uso da terra, principalmente no que se

refere à dinâmica da umidade do solo e evapotranspiração em regiões áridas e semiáridas. O estudo da interceptação e do balanço hídrico pode ser utilizado para quantificar e verificar os esses efeitos decorrentes da alteração da cobertura vegetal provocada pela modificação do uso da terra.

A técnica do balanço hídrico consiste na quantificação de todos os componentes de entrada e saída de água em um determinado intervalo de tempo considerando um volume de solo que englobe todo o sistema radicular do vegetal estudado (LIBARDI, 2005). A aplicação dessa metodologia envolve todos os processos responsáveis por reter e conduzir a água no sistema solo-planta-atmosfera, sendo uma das técnicas mais usuais para estimativa da evapotranspiração (SOUZA et al., 2013).

Nesse contexto, o presente trabalho, realizado em áreas de Caatinga e pastagem no semiárido pernambucano, teve como objetivos: *i*) verificar a influência dessas áreas nos componentes do balanço hídrico; *ii*) quantificar a lâmina de água interceptada pelo dossel da vegetação da Caatinga e *iii*) aplicar um modelo matemático de interceptação para avaliar a capacidade máxima de armazenamento de água pelo dossel da Caatinga nas estações seca e úmida.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

O experimento foi conduzido nas fazendas Buenos Aires e Alagoinha, situadas no município de Serra Talhada – PE, Microrregião do Vale do Pajeú. Este município faz parte da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, a qual está inserida em sua totalidade no Estado de Pernambuco entre as coordenadas geográficas 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude a oeste, a uma altitude de 430 m (Figura 1).

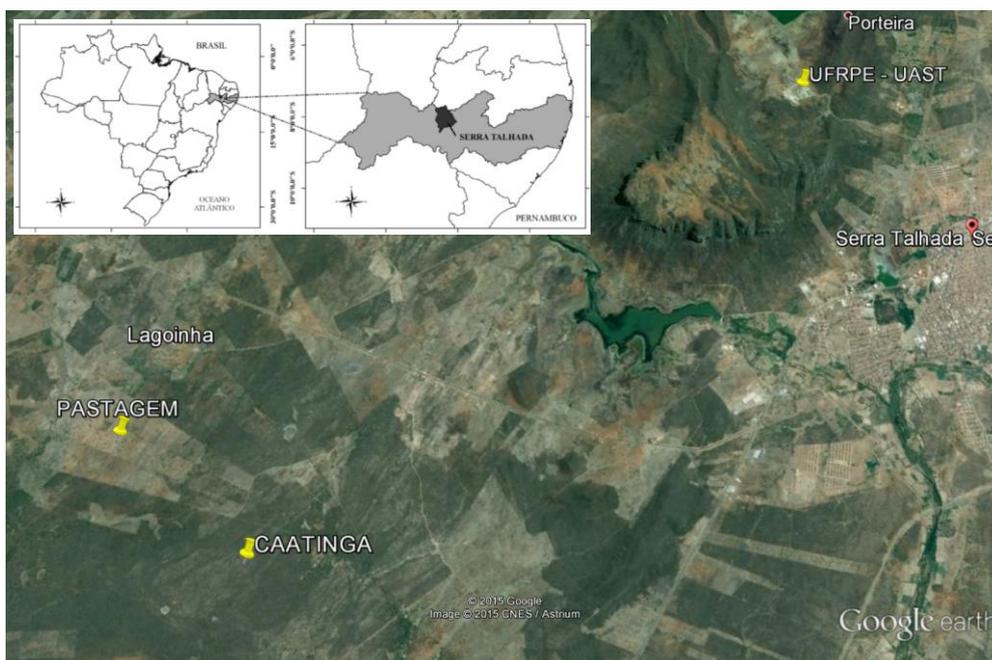


Figura 1. Localização da área de estudo apresentando a delimitação do município de Serra Talhada

As medidas foram realizadas em uma Caatinga predominantemente arbórea e em uma pastagem inicialmente com capim corrente (*Urochloa mosambicensis*). Entretanto, devido aos prolongados períodos de estiagem (2011 a 2014), associados ao manejo inadequado, essa área de pastagem sofreu um intenso processo de degradação, predominando as ervas espontâneas, principalmente a malva-branca (*Sida cordifolia*). O clima é classificado por Köppen (1931) como BShw', semiárido, caracterizado como sendo quente e seco, com chuvas de verão concentradas entre dezembro e maio (85%). De acordo com Pereira et al. (2014), a precipitação média anual da região é de aproximadamente 642 mm, com temperatura média anual de 25,2°C, com a mínima (18,3°C) ocorrendo em julho e a máxima (35,2°C) em novembro.

2.2 HISTÓRICOS DAS ÁREAS

A área de Catinga é recoberta por uma vegetação secundária resultante da exploração madeireira ocorrida no passado. Segundo moradores locais, esta área está em processo de regeneração há mais de 50 anos, apresentando no período da pesquisa um ótimo estado de conservação. Em algumas porções é possível encontrar árvores remanescentes da vegetação primitiva que podem alcançar até 10 m de altura. As principais espécies encontradas nessa área estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação das principais espécies presentes na área de Caatinga

Família	Nome científico	Nome popular
Bromeliaceae	<i>Bromelia laciniosa</i> Mart.	Macambira
	<i>Neoglaziovia variegata</i> Mez.	Caroá
Polygonaceae	<i>Triplaris pachau</i> Mart.	Pajeú
Leguminosae	<i>Calliandra depauperata</i> Benth.	Carqueja
	<i>Mimosa hostilis</i> Benth.	Jurema preta
	<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan.	Anjico
	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira
	<i>Torresea cearensis</i> Fr. Ali.	Imburana de cheiro
Anacardiaceae	<i>Geoffraea spinosa</i> Jacq.	Marizeiro
	<i>Schnopsis brasiliensis</i> Engl.	Braúna
	<i>Astronium urundeuva</i> Engl.	Aroeira
Rhamnaceae	<i>Spondias tuberosa</i> Arruda.	Imbuzeiro
	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro
Sapotaceae	<i>Bumelia sartorum</i> Mart.	Quixabeira
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Mandacaru
	<i>Pilocereus gounellei</i> Weber.	Xique-xique

De maneira geral, a maioria das espécies da Caatinga apresentam características morfológicas e fisiológicas que lhe permitem sobreviver em condições de escassez hídrica. Dentre essas características podemos destacar o fechamento estomático, a redução de área foliar, a senescência, a caducifolia, bem como o ajuste osmótico (SILVA et al., 2004). As espécies que adotam a caducifolia como estratégia de sobrevivência, no período seco podem perder até 70% da massa foliar do dossel (TOLENTINO & NUNES, 2008).

A vegetação nativa da área que hoje é de pastagem foi removida no ano de 1974 para o cultivo de algodão, milho e feijão, em sistema consorciado e de sequeiro. Seis anos depois, com a chegada do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), o cultivo de algodão entrou em declínio, cultivando-se assim somente a cultura do milho e feijão. O solo era revolvido anualmente com o auxílio de uma grade média acoplada em trator de pneus. No ano de 1995

introduziu-se a pastagem. O proprietário utilizou sementes de duas espécies C4, o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e o capim corrente (*Urochloa mosambicensis*), sendo o segundo semeado em maior quantidade. Logo após o período de chuvas, ocorria à entrada dos animais na área (bovinos, caprinos, ovinos e equinos) para pastejar. Devido à severa estiagem dos últimos anos (2011 a 2014), no início da pesquisa, o pasto encontrava-se totalmente degradado, passando a predominar ervas espontâneas, principalmente a malva-branca (*Sida cordifolia*).

2.3 SOLOS DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS

Foram abertas trincheiras nos topos de suave elevação e de topografias planas (0 – 3% de declividade) tanto na área de Caatinga como na de pastagem. De acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006), os solos predominantes nas duas áreas são o Neossolo Litólico (2A) e o Luvisolo Crômico (2B). Trata-se de solos rasos que atingem profundidades de 40 e 50 cm, respectivamente.

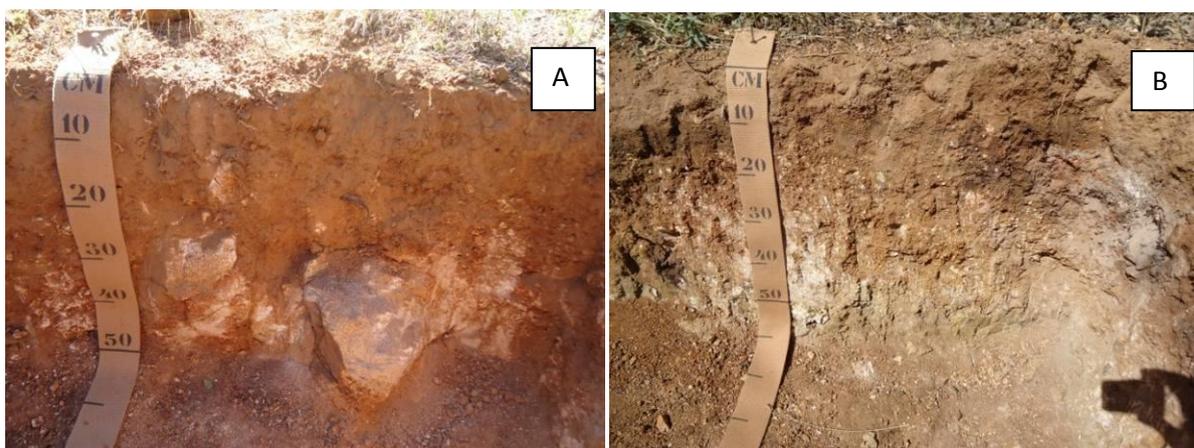


Figura 2. Perfis de solos predominantes nas áreas de Caatinga regenerada (A) e pastagem degradada (B)

2.3.1 Propriedades físicas e químicas dos solos

Para determinação das propriedades físicas do solo, foram selecionados quatro perfis por área, totalizando oito pontos de amostragem. As análises granulométricas foram realizadas segundo a metodologia proposta por Ruiz (2005). A densidade do solo e a porosidade total foram determinadas de acordo com o manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1979).

As propriedades químicas dos solos foram determinadas na camada superficial de 0-20 cm onde se realizou uma amostragem de três pontos em cada uma das cinco parcelas (calhas de monitoramento do escoamento superficial) nas duas áreas estudadas, totalizando assim, 30 amostras de solo, coletadas no período chuvoso (março de 2014). Após secagem na sombra, o solo coletado foi destorroado, peneirado (malha de dois mm) e homogeneizado para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), onde foi encaminhado ao Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, para as devidas determinações.

2.4 DETERMINAÇÕES DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO

Com o intuito de realizar o monitoramento das variáveis meteorológicas, bem como a determinação dos componentes do balanço hídrico, foram instaladas torres micrometeorológicas em cada área estudada. A centralização entre as parcelas foi o principal critério utilizado na instalação. Todas as amostragens e medidas foram realizadas em um raio de 100 metros das torres.

A equação do balanço hídrico pode ser expressa da forma como apresentada por Reichardt et al. (1979):

$$\int_0^{z^{tj+1}} \int_{tj}^{tj+1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz = \int_{tj}^{tj+1} (p \pm qz - q_{ES} - q_{ET}) dt \quad (1)$$

sendo, θ o conteúdo volumétrico de água ($L^3.L^{-3}$), z a coordenada vertical sobre um eixo orientado positivamente para baixo (L), t o tempo (T), p o fluxo devido à chuva ($L.T^{-1}$), qz o fluxo de água no solo na profundidade z (drenagem profunda ou ascensão capilar) ($L.T^{-1}$), q_{ES} o fluxo devido ao escoamento superficial ($L.T^{-1}$) e q_{ET} o fluxo devido a evapotranspiração ($L.T^{-1}$).

Integrando a equação 1, com relação ao tempo e à profundidade, obtêm-se a equação mais comumente empregada em estudos de balanço hídrico:

$$\Delta A_z = P \pm Q_z - ES - ET \quad (2)$$

onde, ΔA_z (mm) é a variação do armazenamento de água na camada de solo de profundidade z , P (mm) a lâmina de chuva, Q_z (mm) a lâmina de drenagem profunda ($D = - Q_z$) ou de ascensão capilar ($AC = Q_z$), ES (mm) a lâmina de escoamento superficial e ET (mm) a lâmina de evapotranspiração.

O balanço hídrico nas áreas de Caatinga e de pastagem foi realizado no período entre 01 de agosto de 2014 a 31 de julho de 2015. O volume de controle considerado para o balanço

hídrico correspondeu à camada do perfil do solo nas duas áreas, no intervalo compreendido entre $z_1 = 0$ (superfície do solo) e $z_2 = 30$ cm. Este intervalo foi estabelecido com base na profundidade dos solos de cada área (Neossolo Litólico na Caatinga e um Luvisolo Crômico na pastagem), cujas profundidades máximas variavam entre 40 e 50 cm e na distribuição vertical de raízes, com o maior volume de biomassa encontrando-se na camada de 0 a 30 cm.

2.4.1 Medidas de precipitação e interceptação das chuvas

A precipitação total acima do dossel (P) foi determinada por meio de um pluviômetro eletrônico (TR52SUW, Texas Eletronics) instalado junto às torres micrometeorológicas localizado acima do dossel das plantas. Para avaliação das chuvas internas, ou seja, a contabilização da água que realmente chega ao solo dentro da vegetação da Caatinga, foram instalados pluviômetros manuais (Figura 3) a uma altura de 50 cm da superfície do solo, com área de captação de $165,13 \text{ cm}^2$, distribuídos em 04 parcelas de 20 x 50 m no entorno da torre micrometeorológica, totalizando assim, 40 pontos de avaliação da precipitação interna na área de Caatinga, mensurada no período de novembro de 2014 a julho de 2015. A precipitação interna correspondeu à média aritmética das quantidades de chuva registradas nos quarenta pluviômetros. A interceptação foi determinada a partir da diferença entre a precipitação acima do dossel (precipitação total) e a precipitação abaixo do dossel (precipitação interna) e seus dados utilizados para ajustar um modelo de interceptação para vegetação da Caatinga a partir do modelo proposto por Aston (1979). Na área de pastagem, em virtude do alto grau de degradação, reflexo da estiagem dos últimos quatro anos (2011 a 2014), não foi considerado a precipitação interna, pois não havia vegetação na área capaz de interceptar a água das chuvas.



Figura 3. Pluviômetro manual para monitoramento da precipitação interna em área de Caatinga

2.4.1.1 Modelo de interceptação da Caatinga

Para uma melhor compreensão do efeito da dinâmica do dossel da caatinga na interceptação das chuvas foi aplicado o modelo de interceptação proposto por Aston (1979) para os períodos seco e chuvoso local:

$$I(R) = S_{\max}[1 - \exp(-kR/S_{\max})] \quad (3)$$

sendo I (mm) a interceptação, R (mm) o total de chuva do evento; S_{\max} (mm) a capacidade máxima de armazenamento de água pelo dossel da vegetação e k o fator de correção da abertura do dossel (adimensional).

De maneira geral, a identificação do período seco e do período úmido de uma determinada região é fundamentada na análise dos dados históricos das chuvas, onde é possível diferenciar os meses que a precipitação pluvial é maior e menor. Tendo em vista que, a vegetação da Caatinga, por questões ecofisiológicas, consegue manter seu dossel relativamente verde durante alguns dias após o fim do período chuvoso, o que dificulta a identificação precisa entre esses períodos e a irregularidade das chuvas nos últimos anos (2011 a 2015), nesse estudo, optou-se por utilizar o NDVI (Índice de vegetação por diferença normalizada) como parâmetro de determinação do período seco e do período úmido.

O NDVI tem se apresentado uma técnica precisa, bastante usual, de custo reduzido, utilizada principalmente para identificar mudanças das propriedades ópticas de uma determinada cobertura vegetal através da reflectância padrão emitida pelos dosséis, permitindo assim o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre (YANG et al., 2005; JOHNSON & TROUT, 2012; FRANCISCO et al., 2015).

No início da estação chuvosa a Caatinga sai do estado de dormência e inicia a brotação das folhas e o dossel poderá estar completamente verde em até 15 dias, dependendo da distribuição das chuvas nesse período. Com o início da brotação das folhas, o índice de área foliar (IAF) aumenta e, conseqüentemente, a capacidade da vegetação interceptar um maior volume de chuva também aumenta. A partir de certo limite de IAF, quase todo o solo estará coberto e a Caatinga apresenta um dossel com a capacidade máxima de interceptação da chuva. Além disso, algumas espécies da caatinga podem perder parte das folhas durante os intervalos de estiagens ainda na estação chuvosa (veranicos), reduzindo assim o IAF.

Determinar o limite de IAF onde a Caatinga tem a máxima capacidade de interceptação é grande desafio, principalmente com poucos anos de monitoramento dessas variáveis. Por essa razão, e baseado na distribuição de frequência do NDVI durante o período de estudo, para a obtenção dos parâmetros da Equação 3 foi considerado período seco quando o NDVI foi menor ou igual a 0,50 e período chuvoso quando o NDVI foi maior do que 0,50.

O NDVI disponibilizado no produto MOD13Q1 foi obtido a partir de imagens de satélites do sensor orbital MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), com resolução espacial de 250 m (6,25 ha) e composição de 16 dias, disponíveis no banco de dados da EMBRAPA (<http://www.modis.cnptia.embrapa.br>). Durante o presente estudo, foram obtidas 22 composições de NDVI, utilizando um pixel para janela de amostragem.

O ajuste dos parâmetros S_{max} e k (Eq. 3) para o período seco e o período chuvoso foi realizado pelo método dos mínimos quadrados. A qualidade dos parâmetros foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2), erro quadrado médio (RMSE) e o erro médio absoluto (EMA). Todas as análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 2015).

2.4.2 Armazenamento de água no solo (A_z)

A variação do armazenamento de água (ΔA_z), em termos práticos, é a área compreendida entre os perfis de umidade nos tempos (t_j) e (t_{j+1}) e entre as coordenadas $z_1 = 0$ e $z_2 = 30$ cm (Figura 4).

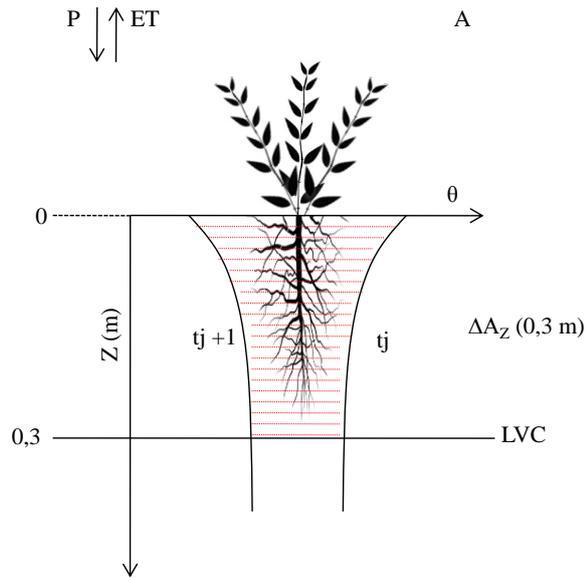


Figura 4. Representação gráfica da variação do armazenamento de água no solo (ΔA_z)

O monitoramento do armazenamento de água no solo foi realizado através de sensores de umidade (*CS615 - Campbell*), instaladas a 5, 10, 20, 30 e 40 cm e a 5, 10, 20, 30 e 40 cm de profundidade da superfície do solo para a Caatinga e a pastagem, respectivamente. O armazenamento acumulado de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L = 0,30\text{m}$) (ANTONINO et al., 2005), através da equação:

$$A_Z = \int_0^L \theta(z) dz = \left[0,50\theta(z) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,50\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (4)$$

sendo, θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) o conteúdo volumétrico de água.

Para determinação da variação do armazenamento de água (ΔA_z) no perfil de solo (camada de 0 - 0,3 m) utilizou-se a diferença entre os valores de armazenamento de água acumulados no perfil do solo no final (A_{zf}) e no início (A_{zi}) de cada período avaliado:

$$\Delta A_z = A_{zf} - A_{zi} \quad (5)$$

2.4.3 Fluxo vertical de água no solo (Q_z)

Considerando um perfil de solo com um fluxo ascendente na parte superior e outro fluxo descendente na parte inferior, separadas por um plano de fluxo zero (PFZ) é possível determinar o fluxo q_z baseado na equação de Richards:

$$q_z = \int_{Z_{PFZ}}^Z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \quad (6)$$

para as seguintes condições de contorno:

$$Z = Z_{PFZ}; t > 0; q = 0$$

$$Z = Z; t > 0; q = q_z$$

A lâmina de drenagem profunda ($-Q_z$) ou de ascensão capilar (Q_z) é determinada por:

$$Q_z = \int_{t_j}^{t_{j+1}} q_z dt = q_z \cdot \Delta t \quad (7)$$

As lâminas de drenagem profunda ou de ascensão capilar (Q_z) foram estimadas por meio da técnica testada por Andrade et al. (1988) e aplicada por Hurtado et al. (2005), conhecida como método do perfil instantâneo com evaporação.

Conhecida a distribuição do gradiente do potencial total ($\partial\psi/\partial z$) ao longo do perfil do solo durante o intervalo de tempo $t_{j+1} - t_j$, foram estabelecidas as zonas $\partial\psi_z/\partial z > 0$ e $\partial\psi_z/\partial z < 0$. A transição entre essas duas zonas é um plano de fluxo zero (PFZ), sendo $\partial\psi_z/\partial z = 0$. As lâminas de drenagem ($-Q_z$) ocorridas em um intervalo de tempo qualquer, $t_{j+1} - t_j$, foram obtidas pela integração dos perfis de umidade, de acordo com a Equação 1, fazendo-se z_1 igual a PFZ e $z_2 = 0,3$ m. Quando a profundidade do PFZ era maior que o limite inferior do volume de controle, a integração dos perfis de umidade no intervalo de tempo $t_{j+1} - t_j$, entre $z_1 = 0,3$ m e z_2 igual a profundidade do PFZ, foram obtidas as lâminas de ascensão capilar ($+Q_z$). A Figura 5A e 5B exemplificam esses cálculos.

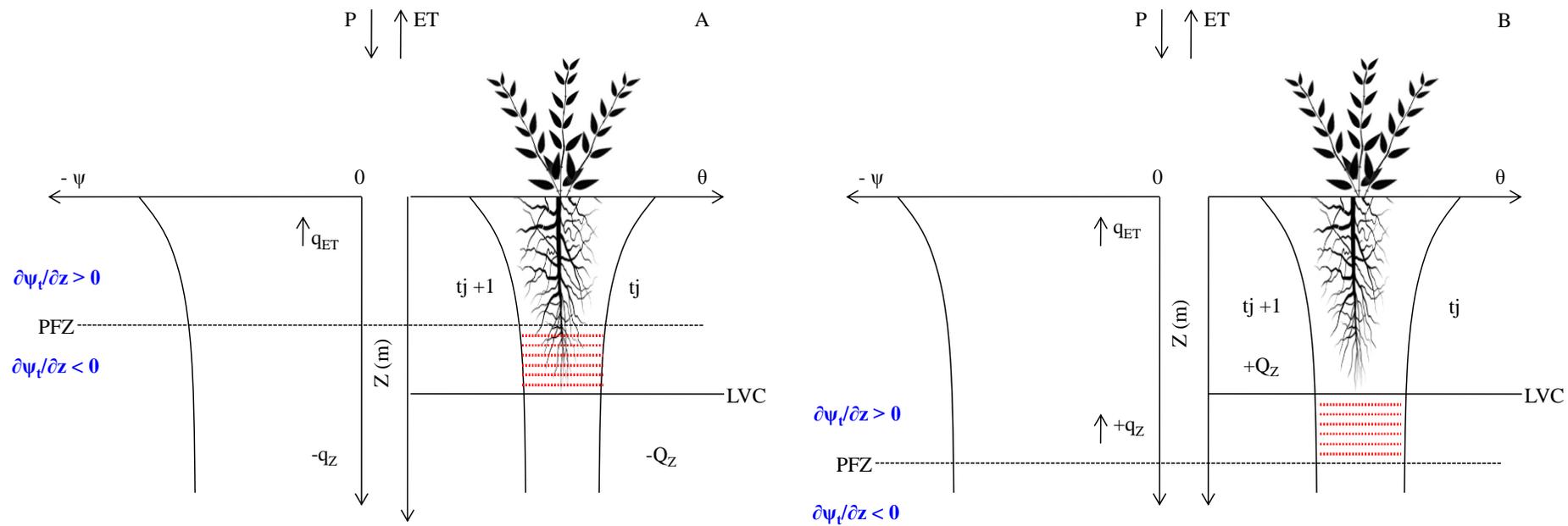


Figura 5. Esquema de determinação da variação de drenagem profunda (A) e de ascensão capilar (B) no volume do controle considerado (LVC). Adaptado de Andrade et al. (1988)

Como só foram realizadas as medições de θ ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$), a curva de retenção foi utilizada para se obter o potencial matricial. Neste caso, o potencial matricial ($h = \square_m$) foi obtido pelo inverso da equação de van Genuchten (1980):

$$h(\theta) = h_g \left[\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

sendo, θ o conteúdo volumétrico de água [$\text{L}^3 \text{L}^{-3}$]; θ_r e θ_s os conteúdos volumétricos residual e saturado [$\text{L}^3 \text{L}^{-3}$], respectivamente; $h = \square_m$ o potencial matricial [L]; h_g [L] um valor de escala de h ; m e n são parâmetros de forma. Essa função contém quatro parâmetros desconhecidos: dois parâmetros de forma (m ou n) e dois parâmetros de normalização (θ_s e h_g). Os parâmetros de forma dependem principalmente da textura, enquanto os parâmetros de normalização resultam da estrutura dos solos. Os parâmetros de forma e normalização foram obtidos através do programa BEST (*Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments*) proposto por Lassabatère et al. (2006).

Para realização desse procedimento adotou-se a "metodologia Beerkan" proposta por Lassabatère et al. (2006) e descrita por Souza et al. (2008), onde, próximo a cada dispositivo de escoamento superficial, foram realizadas medidas de infiltração e coletas de solos.

Os testes de infiltração foram realizados com o auxílio de um infiltrômetro de anel simples com diâmetro de 150 mm (Figura 6). Os ensaios foram realizados aplicando-se um conjunto de volumes fixos de água (100 ml) onde o tempo de infiltração desses volumes eram registrados, repetindo-se os testes até que o fluxo atingisse o regime permanente, ou seja, de fluxo constante com o tempo. A densidade do solo (ρ_s) foi determinada a partir de amostras indeformadas coletadas durante os ensaios de infiltração. Já a curva granulométrica e os conteúdos volumétricos de água inicial (θ_0) e final (θ_s), foram obtidos a partir de amostras deformadas.



Figura 6. Ensaio de infiltração com infiltrômetro de anel simples com (D =150 mm)

A metodologia Beerkan vale-se de propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva de distribuição dos tamanhos das partículas e a curva de infiltração da água no solo, respectivamente, para obter os parâmetros (n , θ_s e h_g). Esta metodologia admite que a umidade residual é igual a zero ($\theta_r = 0$). Os detalhes do método incluindo os dados necessários para a sua aplicação, como também os procedimentos necessários para os cálculos, foram apresentados por Souza et al. (2008).

A estimativa da posição do fluxo do plano de fluxo zero (PFZ) foi baseada no procedimento apresentado por Hurtado et al. (2005). Segundo esses autores, uma equação polinomial de segundo grau com parâmetros de ajuste a (m), b e c (m^{-1}) se ajusta geralmente bem aos dados experimentais do potencial total $-\psi_T$ versus z , de forma que:

$$\psi_T = a + bZ + cZ^2 \quad (9)$$

e dessa forma:

$$\nabla \psi_T = \frac{\partial \psi_T}{\partial z} = b + 2cz \quad (10)$$

Igualando a equação 9 a zero, obtém-se que:

$$Z_{PFZ} = -\frac{b}{2c} \quad (11)$$

Como o PFZ pode mudar de posição ao longo do tempo, um valor para Z_{PFZ} foi obtido pela Equação 11 para cada tempo de observação experimental.

2.4.4 Escoamento superficial (ES)

Para determinar o escoamento superficial utilizou-se um dispositivo de captação desenvolvido por Souza et al. (2015) de formato retangular composto por: calha confeccionada a partir de chapa galvanizada para condução da água escoada e um sistema de armazenamento, formado por reservatórios plásticos com tampa, localizados na parte mais baixa do declive para captação da água escoada, conforme Figura 7. No total foram instalados 10 dispositivos de medição do escoamento superficial, sendo cinco na área de Caatinga e cinco na área de pastagem. A calha possui uma área de captação de 1,02 m² e uma altura de 30 cm, sendo 15 cm introduzidos no solo. O escoamento superficial (ES) foi calculado a partir da equação:

$$ES(mm) = \left(\frac{hA_{rc}}{A_{ca}} \right) \cdot 1000 \quad (12)$$

onde, h a altura da coluna de água no recipiente coletor (m), A_{rc} a área do recipiente coletor (m²) e A_{ca} a área da calha (m²).



Figura 7. Calha de monitoramento do escoamento superficial. Souza et al. (2015)

2.4.5 Evapotranspiração (ET)

A estimativa da evapotranspiração real (ET_r) em regiões semiáridas é realizada por vários métodos, dentre eles o balanço hídrico de água no solo comumente utilizado (SOUZA et al., 2015). Nesse estudo a evapotranspiração real (ET_r) foi obtida como termo residual da equação do balanço de água no solo (Equação 2).

2.4.5.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

Para determinação da ET_o (mm dia⁻¹) utilizou-se os dados coletados pelas torres micrometeorológicas instaladas nas áreas estudadas (Caatinga e pastagem). Foram utilizados os valores diários de: temperaturas máxima, média e mínima (°C); umidade relativa do ar (%); radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹) e velocidade do vento a 10 m de altura (m s⁻¹) para estimativas na área de Caatinga e a 2 m de altura (m s⁻¹) para estimativas na área de pastagem.

A Evapotranspiração de referência foi estimada pelo modelo de Penman Monteith parametrizado conforme o boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u)} \quad (13)$$

onde, Δ é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água [kPa °C⁻¹], calculada pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot es}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (14)$$

o Rn e G, são respectivamente o saldo de radiação e a densidade do fluxo de calor no solo [MJ m⁻² dia⁻¹]; γ é a constante psicométrica [kPa °C⁻¹] que utiliza o valor da pressão atmosférica (P_a), obtida pela seguinte equação:

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} \cdot P_a \quad (15)$$

T_{med} é a temperatura média do ar [°C]; u é a velocidade do vento [m s⁻¹]; e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa) e e_a é a pressão atual de vapor (kPa), obtidas pelas seguintes equações:

$$e_s^{T_{max}} = 0,6108e^{\frac{17,27T_{max}}{237,3+T_{max}}} \quad (16)$$

$$e_s^{T_{min}} = 0,6108e^{\frac{17,27T_{min}}{237,3+T_{min}}} \quad (17)$$

$$e_s = e_s^{T_{max}} - e_s^{T_{min}} \quad (18)$$

sendo, T_{max} a temperatura máxima diária do ar [°C] e T_{min} a temperatura mínima diária do ar em [°C]. Para calcular a pressão de vapor atual utilizaram-se os valores de umidade relativa média diária, conforme a equação:

$$ea = \frac{(UR \times es)}{100} \quad (19)$$

2.4.5.2 Instrumentação meteorológica

A velocidade do vento foi medida através de um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), a precipitação pluvial a partir de um pluviômetro eletrônico (TE525 series, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) com precisão de 0,1 mm, o saldo de radiação (Rn) por meio de um saldo radiômetro (CNR2, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) o qual contabiliza o balanço de ondas curtas e longas, a temperatura do ar medida através de uma sonda de temperatura (108, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), o fluxo de calor no solo (G), obtido por meio de um fluxímetro (placa de fluxo) (HFP01, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) e a umidade do ar por um higrômetro (Campbell Scientific) instalados em uma torre metálica a 10,0 m da superfície do solo na área de Caatinga (Figura 8A) e a 2,0 m de altura na área de pastagem (Figura 8B). As variáveis mensuradas a cada minuto e seus valores médios armazenados a cada 30 minutos em uma central de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA). A coleta dos dados era realizada em intervalos de 15 dias.

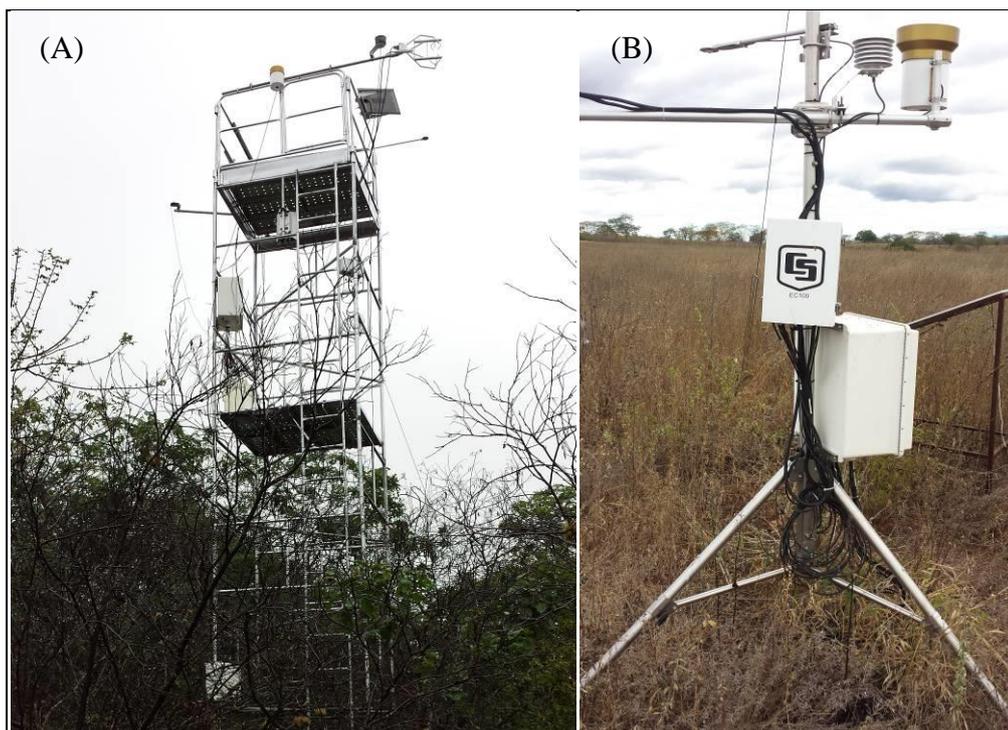


Figura 8. Instrumentação e torre micrometeorológica instalada em área de Caatinga (A) e pastagem (B)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Sabe-se que, nas regiões áridas e semiáridas de todo o planeta, a vegetação está condicionada a situações limitantes como o déficit hídrico, principalmente em função da irregularidade pluvial, além de outros fatores característicos dessas regiões como, elevada temperatura associadas à alta luminosidade, que por sua vez influenciam diretamente a dinâmica da água no solo, afetando o comportamento ecofisiológico da vegetação presente (TROVÃO et al., 2007). O estudo das variáveis meteorológicas é essencial para o entendimento dos fenômenos envolvidos nos processos ecohidrológicos, uma vez que, o ambiente responde em função das variações de precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperatura do ar, radiação, déficit de pressão de vapor, dentre outros. A seguir será apresentado o comportamento dessas variáveis ao longo do período estudado. As distribuições das chuvas e das umidades relativas do ar durante os 12 meses de pesquisa (agosto de 2014 a julho 2015), bem como da normal climatológica do município de Serra Talhada, são apresentadas na Figura 9.

No segundo semestre de 2014, mais precisamente nos meses de outubro e novembro, a precipitação atingiu valores superiores aos da normal climatológica. Em média, os totais precipitados nas áreas de Caatinga e de pastagem, apresentaram uma variação de 76,4% e 282,0% acima da normal climatológica, para os meses de outubro e novembro de 2014, respectivamente. Para os demais meses, as chuvas ficaram em média 56% abaixo da normal climatológica, com exceção do mês de maio que ficou dentro da média, e dos meses de junho e julho de 2015, que também choveu acima do esperado com 158,3 e 250,8%, respectivamente.

Em relação ao total acumulado da precipitação pluvial constatou-se que durante o período de monitoramento (08/2014 - 07/2015) as chuvas corresponderam a aproximadamente 86,6 e 75,6% da normal climatológica (642,1 mm) da região, para área de Caatinga e pastagem respectivamente, sendo esse período caracterizado como regular. No entanto a ocorrência de eventos atípicos como o de outubro e novembro de 2014 e junho e julho de 2015 chamam a atenção, deixando claro que as mudanças climáticas é um acontecimento real que já atinge diversas partes do planeta, provocando serias modificações nos ecossistemas, alterando os regimes de precipitação pluvial, transformando o ambiente natural e as relações bióticas e abióticas (SOUZA et al., 2015).

Os valores de umidade relativa do ar nas duas áreas estudadas ficaram abaixo da normal climatológica da região. No entanto, nos meses em que a precipitação ultrapassou os valores da normal climatológica, a umidade relativa do ar também atingiu valores acima do esperado, com exceção para área de pastagem que mesmo chovendo acima da média nos meses de outubro e novembro, apresentou valores de umidade relativa do ar abaixo da normal.

Os menores valores de umidade relativa do ar na área de pastagem nesse período podem ser atribuídos à modificação nas trocas de energia, proveniente da transformação da paisagem, o que resulta em uma redução da taxa evaporativa e um aumento da partição da energia disponível na forma de calor sensível, promovendo assim, uma elevação no fornecimento de energia para o aquecimento do ar próximo a superfície, além de influenciar as trocas de água e carbono entre a atmosfera e a superfície continental (BIUBES et al., 2009; TWINE et al., 2004).

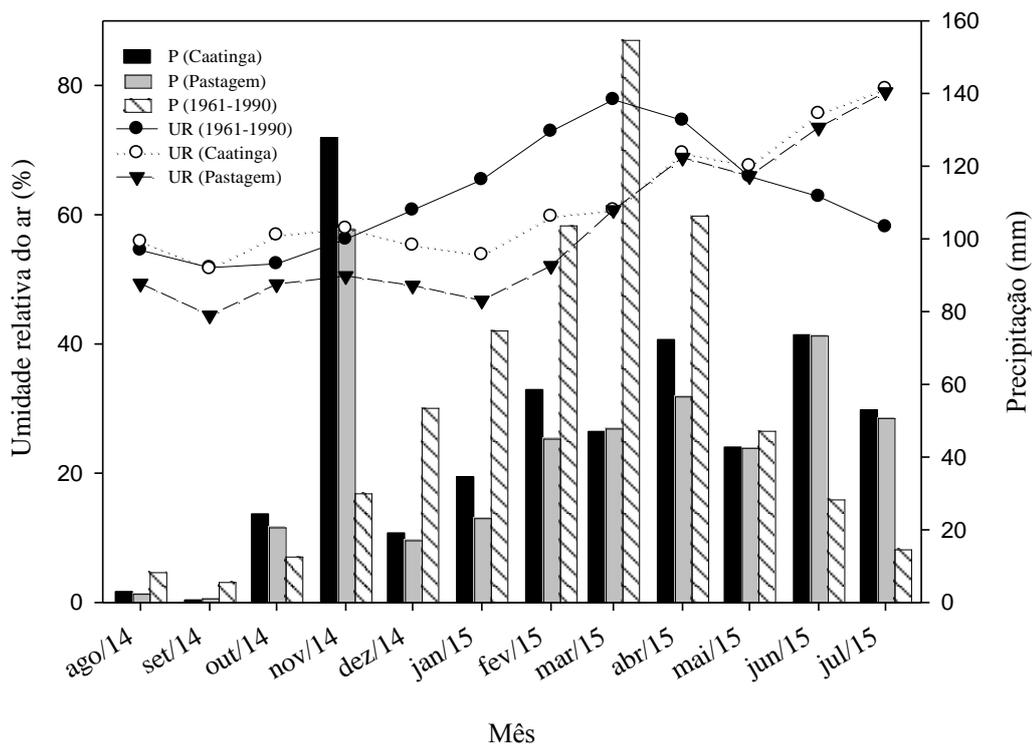


Figura 9. Normal climatológica (1961-1990) da região do médio Pajeú - PE (Fonte: Pereira et al., 2014) e distribuição anual da umidade relativa do ar e precipitação pluvial nos anos de 2014 e 2015 em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

Os valores diários de radiação solar global (Rg), temperatura média do ar (Tar), déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluviométrica (P) e armazenamento de água na camada de 0-30 cm do solo (A_z) da Caatinga são apresentados na Figura 10. As maiores variações da radiação solar global ocorreram de outubro de 2014 até março de 2015. Essa maior flutuação é decorrente da quantidade de eventos de chuva ocorridos nesse período, o que ocasionou um aumento na quantidade de nuvens. Essa maior quantidade de nuvens promoveu uma elevação na perda de radiação solar por reflexão, aumentando assim a radiação difusa. Comportamento semelhante foi observado por Souza (2014) avaliando a dinâmica de energia, água e carbono em pastagem no semiárido brasileiro.

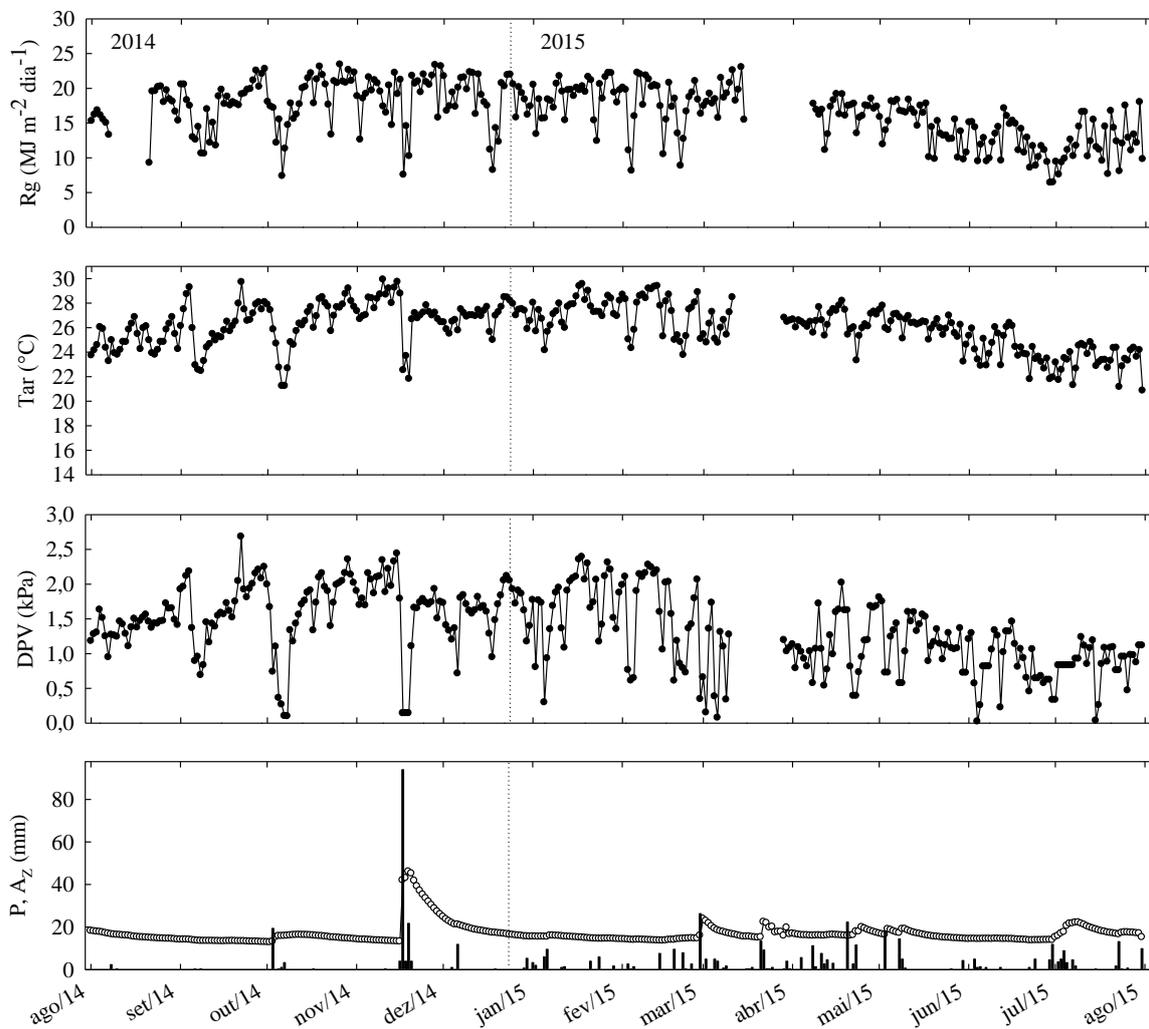


Figura 10. Variação sazonal da radiação global (Rg), temperatura média do ar (Tar), déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluvial (P) e armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm (A_z) em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE

Durante o período avaliado a radiação global (R_g) apresentou um valor médio de aproximadamente $16,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, atingindo seu valor máximo no mês de outubro ($\approx 23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e o menor valor no mês de junho, chegando a apenas $\approx 6,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Esses resultados corroboram com os valores de radiação global encontrados por Teixeira (2001), que avaliando os componentes do balanço de energia em uma região semiárida no Nordeste brasileiro encontraram valores médios de R_g variando entre $16,2 - 20,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

O monitoramento da radiação solar é fundamental para o entendimento dos processos físicos e biológicos que ocorrem em uma superfície vegetada, pois, é a principal fonte de energia para os processos de fotossíntese, aquecimento da superfície e evapotranspiração (FEITOSA et al., 1998).

Como existe uma relação direta entre o déficit de pressão de vapor e a temperatura, seus gráficos possuem comportamento semelhante. Os menores valores de Tar e DPV ocorrem justamente nos períodos de chuvas mais intensas, quando a umidade relativa do ar atinge valores elevados, ocasionando uma redução na temperatura do ar e conseqüentemente uma menor demanda atmosférica. Os valores médios de temperatura do ar variaram entre $20,8$ e $29,9^\circ\text{C}$, sendo seu valor mínimo atingido no mês de julho de 2015 e seu máximo no mês de novembro de 2014, com uma média de 26°C .

A umidade relativa do ar foi em média, 62%. Isso resultou em um déficit de pressão de vapor que atingiu valores mínimos de $0,021 \text{ kPa}$ no mês de junho e máximo de $2,68 \text{ kPa}$ no mês de setembro, com valor médio anual de $1,36 \text{ kPa}$. Souza et al. (2015) estudando o balanço de energia e o controle biofísico da evapotranspiração em área de Caatinga no município de Petrolina, sob condições de seca severa, encontraram uma variação no déficit de pressão de vapor variando entre $1,42 \text{ kPa}$ e $2,39 \text{ kPa}$, com um valor médio anual de $1,95 \text{ kPa}$.

Durante os 12 meses foram contabilizados na área de Caatinga 69 eventos de chuva com quantidades acima de $1,00 \text{ mm}$. As chuvas com valores entre $0 - 5 \text{ mm}$ representaram 62,3 % do total dos eventos de chuva, enquanto que 17,4% foram eventos de chuva entre 5 e 10 mm , 13% de eventos entre $10 - 20 \text{ mm}$ e apenas 5,0% dos eventos de chuva apresentaram precipitação maior do que 20 mm . O valor máximo diário da precipitação para área de Caatinga foi registrado na segunda quinzena do mês de novembro de 2014, alcançando um valor de aproximadamente 94 mm . O armazenamento de água no solo não apresentou grandes variações entre os meses de agosto e outubro de 2014. Isso se deve a baixa precipitação ($\approx 27,93 \text{ mm}$) do período. No mês de novembro de 2014, com a ocorrência de $127,83 \text{ mm}$ de chuvas, o armazenamento de água no solo aumentou significativamente, atingindo um valor

máximo de 45,97 mm. Poucos dias após o aumento da disponibilidade hídrica, a vegetação da Caatinga apresentou os primeiros sinais do restabelecimento da atividade metabólica, com o início do processo de reestruturação de sua cobertura vegetal.

Na área de pastagem a temperatura do ar variou entre 22,12 e 31,65°C, sendo o valor mínimo atingido no mês de agosto de 2014 e o máximo no mês de novembro de 2014, com uma média de 27,9°C (Figura 11). A temperatura média do ar indica que existe uma maior absorção de calor na área de pastagem que resultou num aquecimento do ar superior em 1,9°C ao da Caatinga (Figura 10).

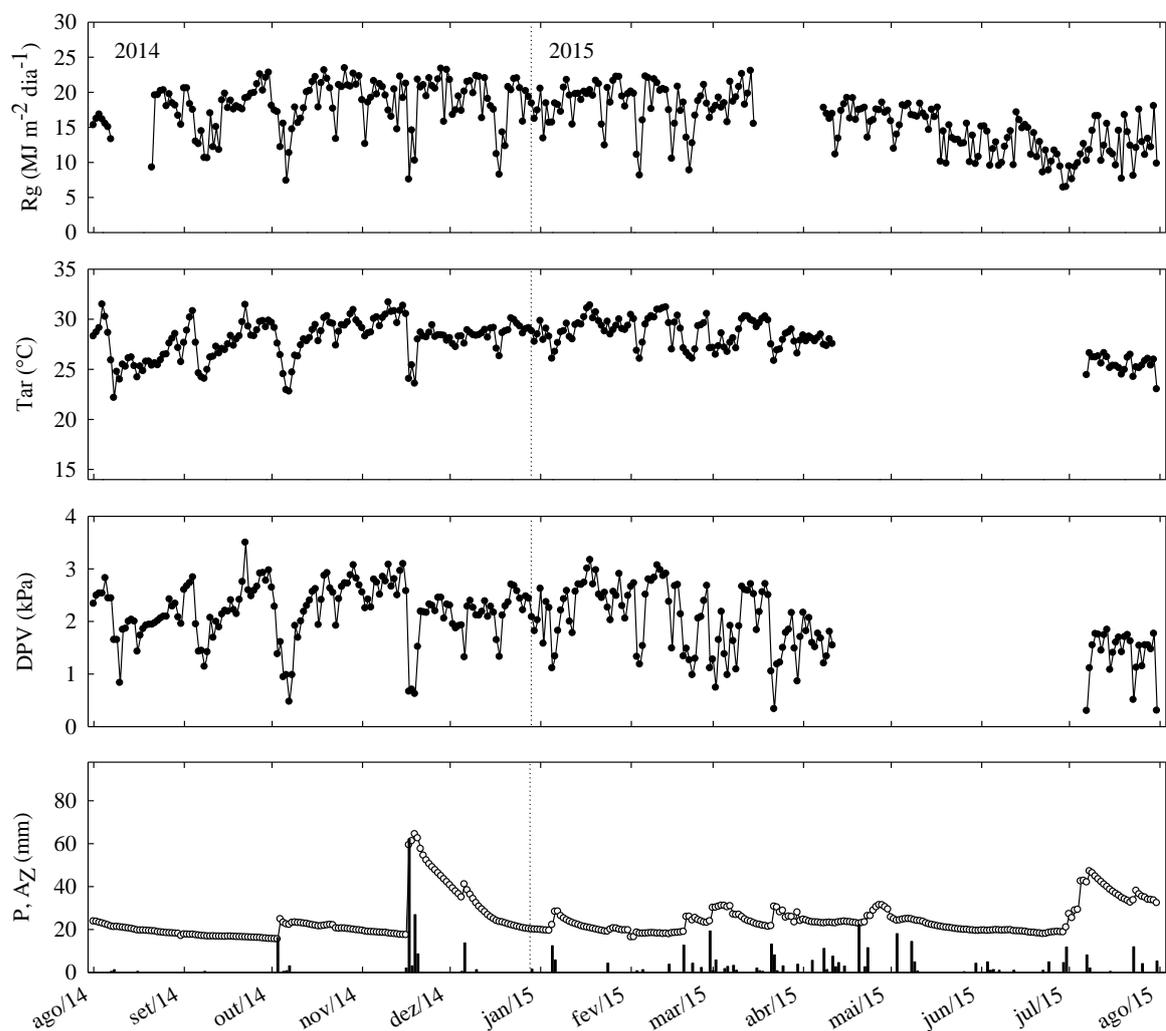


Figura 11. Variação sazonal da radiação global (Rg), temperatura média do ar (Tar), déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluvial (P) e armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm (AZ) em área de pastagem no município de Serra Talhada - PE

Comparando a umidade relativa do ar entre as áreas de Caatinga e pastagem, observou-se que a conversão da Caatinga em pasto degradado, promoveu uma redução de

10,8% na umidade relativa do ar (Figura 9). Essa redução, associada ao aumento da temperatura do ar, fez com que os valores do déficit de pressão de vapor na área de pastagem fossem superiores aos da área de Caatinga, uma vez que o DPV é função da temperatura e umidade relativa do ar. O DPV na área de pastagem variou entre 0,29 e 3,49 kPa, atingindo seu valor mínimo no mês de julho de 2015 e seu valor máximo no mês de setembro de 2014, com um valor médio anual de 3,49 kPa (Figura 10 e 11).

Biubes et al. (2012) estudando o efeito da conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do pantanal, chegaram a conclusão que, essa conversão afetou significativamente o microclima local, reduzindo em 16, 8,5 e 5,7% a precipitação, radiação solar incidente e umidade relativa do ar respectivamente, além de promover um aumento de 6,6% na temperatura do ar.

Como o padrão de distribuição pluvial foi praticamente o mesmo nas duas áreas, o armazenamento de água no solo apresentou comportamento semelhante. No entanto, nota-se que o solo da área de pastagem tem maior capacidade de armazenamento de água, acumulando no mês de novembro de 2014, 64,27 mm, enquanto que a Caatinga armazenou 45,97 mm.

O menor armazenamento de água no solo da Caatinga pode ser explicado pelo processo de interceptação das chuvas pelo dossel da vegetação. Amorim (2013) estudando o processo de interceptação das chuvas em área de Caatinga no município de Soledade na Paraíba verificou perdas de 19%. Se considerarmos um evento de chuva de 100 mm, isso quer dizer que, desse total, 81 mm atingiu o solo, o que influencia diretamente o armazenamento de água no solo.

Como na área de pastagem não houve perdas por interceptação, pois no momento da pesquisa o pasto encontrava-se totalmente degradado, uma maior quantidade de água atingiu o solo. Além disso, a maior quantidade de argila presente no solo contribuiu significativamente para um maior armazenamento de água. No entanto, mesmo conseguindo armazenar mais água no solo, a vegetação na área de pastagem não conseguiu se reestabelecer, pois essa água era rapidamente perdida para atmosfera pelo processo de evaporação.

Esse resultado mostra que a modificação do ambiente através da mudança do uso da terra, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a água é um dos principais fatores limitantes, deve ser realizada de forma planejada, adotando sempre estratégias e técnicas que visem à redução das perdas de água e solo por evaporação e escoamento superficial.

A evapotranspiração de referência foi determinada a partir da Equação 13, com o objetivo de comparar a variação da demanda atmosférica entre área de Caatinga e pastagem durante o período experimental (12 meses). Os padrões de variação da evapotranspiração de referência (ET_o) da Caatinga e da pastagem são apresentados na Figuras 12.

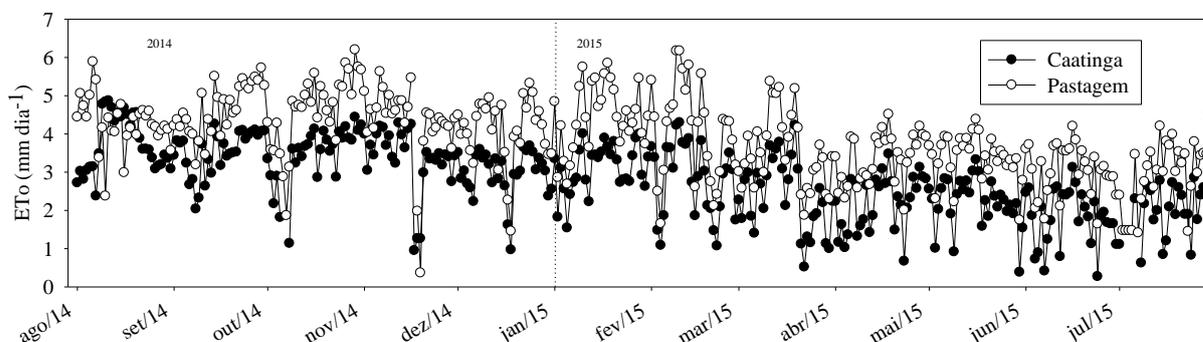


Figura 12. Variação sazonal da evapotranspiração de referência na área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada – PE

Avaliando o comportamento da ET_o na área de Caatinga durante o período monitorado, nota-se que, a evapotranspiração de referência apresentou uma variação entre 0,3 e 4,9 $mm\ dia^{-1}$ e entre 0,4 e 6,2 $mm\ dia^{-1}$ na área de Caatinga e pastagem, apresentando valores médios de 2,82 e 3,89, respectivamente.

O período de maior demanda atmosférica foi entre os meses de agosto de 2014 e março de 2015, onde ocorrem os maiores valores de ET_o . As maiores variações da ET_o ocorrem no período de ocorrência de chuvas, uma vez que, durante esses períodos existem uma alteração nos fatores climáticos que influenciam diretamente os valores de ET_o . Esse comportamento foi observado nas duas áreas, no entanto, de maneira geral a pastagem apresentou maiores valores de ET_o ao longo do período avaliado quando comparado com a área de Caatinga. Verificou-se também, que a partir de dezembro, houve um declínio nos valores da ET_o , tanto na Caatinga, quanto na pastagem, com exceção para alguns períodos onde houve um intervalo maior entre os eventos de chuva. Essa redução nos valores de ET_o é reflexo das condições meteorológicas durante esses meses. Percebe-se que, essa redução ocorre justamente quando os valores de R_g , T_{ar} e DPV (Figuras 10 e 11) são menores, bem como, quando existe uma maior ocorrência de chuvas. As lâminas totais de evapotranspiração de referência durante os 12 meses de avaliação foram 1012,46 e 1417,68 $mm\ ano^{-1}$ para área de Caatinga e pastagem, respectivamente.

O resultado da ET_o para área de Caatinga ficou abaixo da média anual encontrada por Silva et al. (2011), que ao avaliarem a evapotranspiração de referência sob diferentes regimes

de precipitações no Estado de Pernambuco, verificaram que, a demanda atmosférica por vapor d'água na mesorregião do Sertão e Sertão do São Francisco, variou entre 1400 e 1600 mm ano⁻¹ (ET_o anual média) em anos com condições normais de precipitação. Já em anos considerados secos para mesma região esse valor ultrapassou os 2100 mm ano⁻¹.

O valor total anual ET_o foi abaixo do valor encontrado por Souza (2014) que ao avaliar a mesma área de pastagem no ano de 2012, considerado seco (140 mm), verificou um valor de 2276,98 mm ano⁻¹. Essa diferença pode ser atribuída principalmente à quantidade de chuvas que foi bastante reduzida quando comparada com ao do período de estudo realizado entre agosto de 2014 e julho de 2015, que apresentou 556,32 mm.

De acordo com Pereira et al. (2002) a demanda atmosférica por vapor d'água de cada região é influenciada pelo efeito combinado dos fatores climáticos como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, dentre outros.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Analisando a granulometria na área de Caatinga, foi possível constatar que, a textura do solo nas profundidades estudadas apresentou comportamento semelhante. Porém, nota-se que, na superfície do solo existe uma maior quantidade de areia (68,53 %) e uma menor quantidade de argila (6,38 %), quando comparado com as demais profundidades. O mesmo comportamento é observado na área de pastagem, onde na superfície do solo são encontrados 59,85 % e 12,72 % de areia e argila respectivamente. Em ambos os solos, a classe textural até a profundidade de 20 cm é Franco-Arenosa, de 20-40 cm de profundidade a classe textural é Franco-Argilo-Arenosa. No entanto, o solo da área de pastagem possui uma maior quantidade de argila nas camadas mais profundas que da área de Caatinga (Tabela 2).

Tabela 2. Principais atributos físicos do perfil descrito em área de Caatinga e pastagem

Caatinga						
Camada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural	Ds (g/cm ³)	Pt (m ³ /m ³)
0 – 10	68,53	25,09	6,38	Franco-Arenosa	1,20	0,55
10 – 20	64,45	24,26	11,29	Franco-Arenosa	1,39	0,48
20 – 30	61,83	24,75	13,42	Franco-Arenosa	1,43	0,46
30 – 40	62,71	23,99	13,30	Franco-Argilo-Arenosa	1,49	0,44
40 – 50	62,62	22,43	14,95	Franco-Argilo-Arenosa	1,49	0,44
Pastagem						
0 – 10	59,85	27,43	12,72	Franco-Arenosa	1,38	0,48
10 – 20	52,51	29,00	18,49	Franco-Arenosa	1,45	0,45
20 – 30	49,22	31,60	19,18	Franco-Arenosa	1,36	0,49
30 – 40	49,91	26,37	23,72	Franco-Argilo-Arenosa	1,33	0,50
40 – 50	50,61	21,64	27,75	Franco-Argilo-Arenosa	1,46	0,45

Ds - densidade do solo e Pt - porosidade total

Os valores de densidade do solo nas camadas superficiais (0 - 20 cm) na área de pastagem foram maiores quando comparado com a camada superficial da área de Caatinga. Isso confirma que o solo da área de pastagem é mais compactado que o da Caatinga. Um comportamento inverso é encontrado nas camadas mais profundas (20 - 40 cm), onde a área de Caatinga apresenta uma maior densidade do solo quando comparado com a camada mais profunda na área de pastagem. Na camada superficial da área de Caatinga quando comparada com a área de pastagem, a porosidade total é maior e diminui ao longo do perfil. Já na área de pastagem, os menores valores de porosidade total são encontrados na profundidade de 0 - 20 cm.

O maior valor de densidade do solo na superfície (0 – 20 cm) do solo da área de pastagem é resultado do pisoteio animal e utilização de implementos agrícolas no preparo do solo, o que afeta diretamente a capacidade de infiltração dessa área, tornando esse solo bastante susceptível à erosão hídrica.

Os dados mostram que, de modo geral, as parcelas da área de pastagem apresentaram maiores teores de cátions básicos como, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺ em relação às áreas de Caatinga. Além do maior teor de argila que influencia diretamente na capacidade de troca de cátions, as adubações e deposições de esterco animal ao longo dos anos podem justificar a maior quantidade desses elementos no solo das áreas de pastagem.

A análise dos dados de pH, CE, PST e RAS indicaram que ambos os solos apresentam reação neutra, ou seja, possuem pH próximos a 7,0. Além disso, nota-se que os solos estudados não apresentam problemas de salinidade e, ou, sodicidade (Tabela 3).

Tabela 3. Atributos químicos dos solos nas áreas de Caatinga e pastagem

Parcela	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CTC	PST	RAS	P
		(dS m ⁻¹)	cmol _c kg ⁻¹						(%)	(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}
Caatinga										
1	6,91	0,61	7,23	5,67	0,35	0,46	13,70	2,54	0,62	11,61
2	7,40	0,41	5,22	5,61	0,38	0,41	11,63	3,31	0,82	5,32
3	6,94	0,62	9,95	7,14	0,40	0,70	18,19	2,22	0,53	7,32
4	7,31	0,48	14,50	8,14	0,42	0,93	23,98	1,74	0,58	32,29
5	6,72	0,53	6,32	6,58	0,48	1,06	14,45	3,33	0,55	13,33
Média	6,94	0,53	7,23	6,58	0,40	0,70	14,45	2,54	0,58	11,61
Pastagem										
1	6,91	1,25	9,33	7,66	0,41	0,76	18,16	2,28	0,40	13,19
2	7,07	0,95	13,69	8,87	0,47	1,30	24,34	1,95	0,43	18,49
3	7,14	0,52	15,54	29,48	0,38	0,57	45,97	0,82	0,38	8,66
4	7,17	0,86	8,72	18,10	0,37	0,67	27,85	1,35	0,54	6,54
5	6,08	1,75	7,31	6,78	0,50	0,70	15,28	3,26	0,40	5,04
Média	7,07	0,95	9,33	8,87	0,41	0,70	24,34	1,95	0,40	8,66

CE - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; CTC - capacidade de troca catiônica; PST - percentagem de sódio trocável e RAS - relação de adsorção de sódio

3.3 BALANÇO HÍDRICO

3.3.1 Precipitação e interceptação das chuvas

Dentro do contexto do balanço hídrico, a cobertura vegetal deve ser vista como um agente controlador de água no solo, uma vez que, tem a capacidade de alterar os mecanismos de entrada de água através da superfície em função de suas características morfológicas como, o formato da cobertura vegetal, a área foliar e estrutura da casca, esses, considerados fatores determinantes da capacidade de armazenamento de água pelo dossel, que por sua vez, afeta a interceptação das chuvas e conseqüentemente os demais componentes do balanço hídrico (MORAES, 2009). A interceptação é a primeira partição das chuvas por parte do dossel, onde uma parte da água fica retida pela vegetação e volta para atmosfera pelo processo de evaporação. A outra fração da chuva atinge a superfície do solo na forma de gotejamento ou precipitação interna e como fluxo pelo tronco das árvores (IZIDIO et al., 2013). Estimar a partição das chuvas é fundamental para quantificação precisa da entrada e saída de água no solo, pois, a ausência dessa informação pode comprometer o cálculo do balanço hídrico, uma

vez que, não se sabe a quantidade real de água que contribui para reposição da umidade do solo (OLIVEIRA et al., 2008).

A precipitação interna foi medida a partir do mês de novembro de 2014 (instalação dos pluviômetros) até o mês de julho de 2015. Durante esse período ocorreram 69 eventos de chuva acima de 1,0 mm. Desse total, 62,3% representa chuvas menores que 5 mm, 17,4% entre 5 e 10 mm, 13% entre 10 e 20 mm e apenas 7,2% dos eventos de chuva foram superiores a 20 mm. Com base nesses dados ajustou-se para a vegetação da Caatinga o modelo de interceptação proposto por Aston (1979) nos períodos seco e chuvoso.

Os maiores eventos de chuva ocorreram no início do período de monitoramento da interceptação, com valores de chuva acima de 90 mm. A maior parte dos eventos de chuva foram abaixo de 20 mm indicado pela linha vermelha na Figura 13.

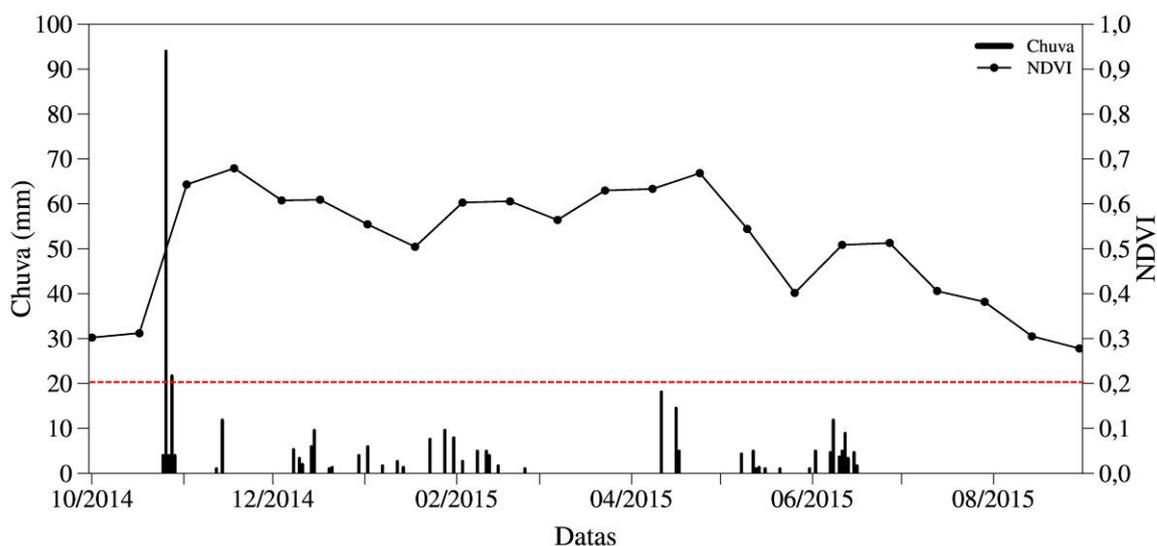


Figura 13. Chuva e NDVI da Caatinga durante o período de monitoramento da interceptação da chuva

Com a distribuição do NDVI no período de monitoramento, verificou-se que, após o início das chuvas nos meses de outubro (24,32 mm) e novembro de 2014 (127,83 mm) a vegetação da caatinga mostrou seus primeiros sinais do reestabelecimento da atividade metabólica, ou seja, saiu do estado de latência e deu início ao seu processo de regeneração foliar, onde o NDVI passou de 0,3 para 0,7 em pouco mais de 15 dias. Esse resultado deixa evidente que a vegetação da Caatinga possui elevada capacidade de recuperação de sua massa foliar e que mesmo com a ocorrência de veranicos o seu dossel se mantém relativamente verde, acompanhando as variações da precipitação pluvial (Figura 13).

O modelo de interceptação proposto por Aston (1979) foi ajustado para vegetação estudada (Caatinga arbóreo-arbustiva densa) para as seguintes condições: período seco ($NDVI \leq 0,5$) e período chuvoso ($NDVI > 0,5$), com o objetivo de ajustar os parâmetros S_{max} e k para a vegetação da Caatinga (Figura 14).

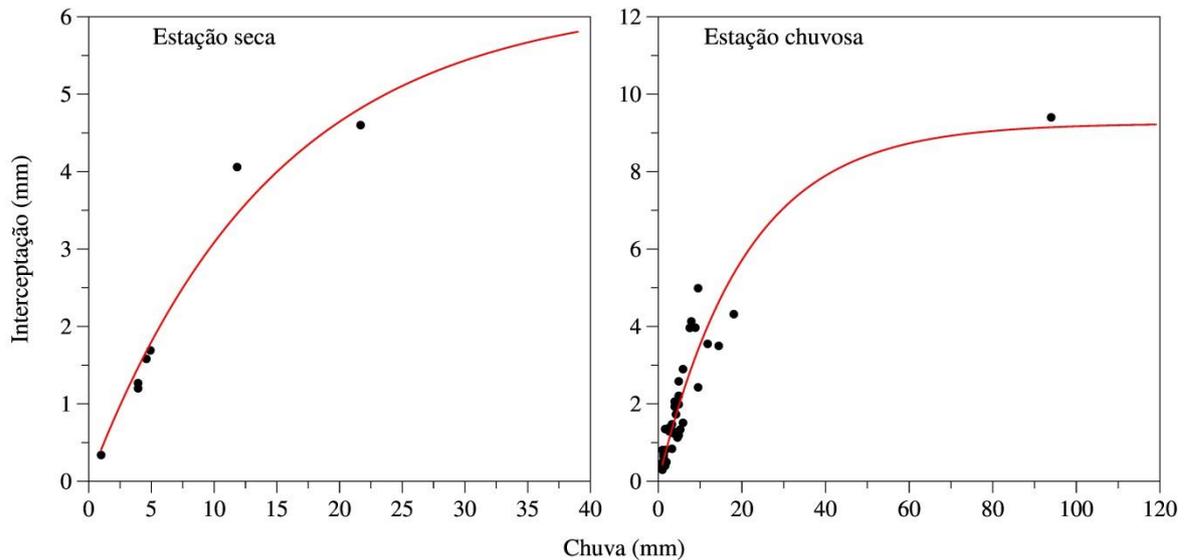


Figura 14. Chuva versus interceptação e modelo ajustado para as estações seca e úmida da área de Caatinga

Após a definição dos modelos de interceptação para os períodos seco e chuvoso, os parâmetros ajustados foram avaliados qualitativamente pelo coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio (RQM) e erro médio absoluto (EMA) (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros de ajuste do modelo de interceptação para Caatinga no período seco e período chuvoso

	Período	S_{max} (mm)	k	R^2	RMSE	EMA
Serra Talhada	Seco (se o $NDVI \leq 0,5$)	6,24	0,4251	0,9674	0,2802	0,2213
	Chuvoso (se o $NDVI > 0,5$)	9,25	0,4443	0,8793	0,6048	0,4631

R^2 - coeficiente de determinação; RMSE - erro quadrático médio; EMA - erro médio absoluto; S_{max} - capacidade máxima de armazenamento de água pelo dossel da vegetação; k - fator de correção da abertura do dossel (adimensional); NDVI - Índice de vegetação por diferença normalizada

Nota-se que, a capacidade máxima de armazenamento de água do dossel (S_{max}) aumentou quase 50% do período seco para o período chuvoso. Essa variação está relacionada com a ecofisiologia da caatinga, pois a maior parte das espécies perdem as folhas durante a

estação seca, mas novas folhas surgem na estação chuvosa. O parâmetro k que está relacionado com a abertura do dossel apresentou menor variação entre as estações seca e chuvosa do que o S_{\max} , o que indica que não houve variação no número de plantas na área estudada. O maior coeficiente de correlação e os menores RMSE e EMA ocorreram no ajuste dos parâmetros S_{\max} e k para o período seco. Entretanto, o maior número de eventos de chuva e interceptação durante o período chuvoso assegura a confiabilidade de S_{\max} e k para o período chuvoso, uma vez que o R^2 é suficientemente alto e o RMSE e EMA baixos (Tabela 4).

A Figura 15A mostra os efeitos dos parâmetros S_{\max} e k para um evento de chuva de 30 mm e a localização desses parâmetros obtidos nesse estudo para o período seco (triângulo vermelho) e período chuvoso (quadrado vermelho). Considerando um evento típico de 30 mm, a vegetação da Caatinga na estação seca intercepta aproximadamente 5,5 mm, enquanto que esse mesmo evento na estação chuvosa consegue interceptar em torno de 7,0 mm. Embora numericamente essa diferença seja de apenas 1,5 mm, em termos relativos, há um aumento de aproximadamente 27% de interceptação no período chuvoso, quando comparado com o período seco.

Na Figura 15B é apresentada a relação entre a chuva e a interceptação considerando S_{\max} e k obtidos para as estações seca e chuvosa. A caatinga apresenta praticamente a mesma capacidade de interceptação para eventos de chuva menores do que 10 mm, onde o total interceptado é de aproximadamente 2,2 mm, independentemente das estações. A diferença entre o total de chuva interceptado na estação seca e chuvosa é superior a 1 mm apenas quando a chuva é acima de 20 mm (linha vermelha tracejada com pontos). Na estação seca, o patamar de interceptação ocorre quando os eventos de chuva são superiores a 40 mm.

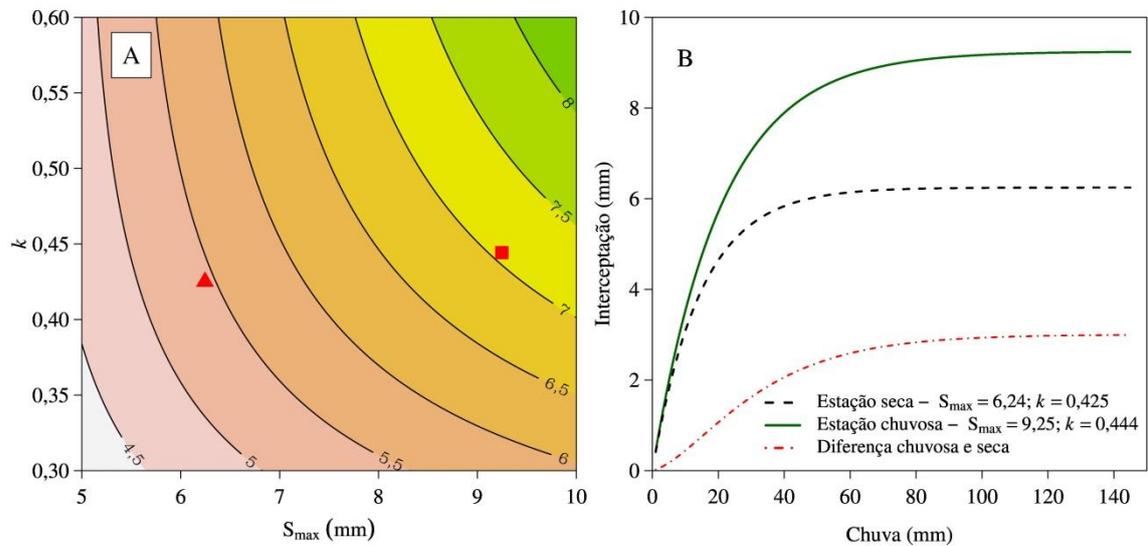


Figura 15. Efeito dos parâmetros S_{max} e k na interceptação de um evento de 30 mm chuva (A) e potencial de interceptação de chuva nas estações seca e chuvosa. Pontos vermelhos em A representam os parâmetros ajustados para caatinga de Serra Talhada nas estações seca (triângulo) e chuvosa (quadrado)

Ajustado o modelo de interceptação para os dois períodos (seco e chuvoso), estimaram-se os valores de interceptação das chuvas e por diferença entre a precipitação externa e a interceptação obteve-se a precipitação interna mensal (Tabela 5).

Tabela 5 Valores mensais da precipitação externa (P_e), precipitação interna (P_i) e interceptação (I) em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE

Mês	P_e (mm)	P_i (mm)	P_i (%)	I (mm)	I (%)
ago/14	2,96	1,82	61,50	1,14	38,50
set/14	0,66	0,38	58,44	0,27	41,56
out/14	24,32	19,26	79,22	5,05	20,78
nov/14	127,83	118,60	92,78	9,23	7,22
dez/14	19,06	13,51	70,91	5,54	29,09
jan/15	34,50	27,02	78,31	7,48	21,69
fev/15	58,49	52,36	89,51	6,13	10,49
mar/15	46,99	38,71	82,38	8,28	17,62
abr/15	72,29	63,33	87,60	8,96	12,40
mai/15	42,72	34,66	81,13	8,06	18,87
jun/15	73,61	67,40	91,57	6,21	8,43
jul/15	52,90	46,83	88,51	6,08	11,49
Total	556,32	483,87	*80,15	72,45	*19,85

*valor médio da precipitação interna e interceptação de chuvas

Do total precipitado acima do dossel (556,32 mm), 72,45 mm foram interceptados pela vegetação, chegando à superfície do solo 483,87 mm. Considerando a média entre as intercepções calculadas e que a maioria dos eventos de chuva foram abaixo de 20 mm, pôde-se concluir que, a vegetação estudada (Caatinga arbóreo-arbustiva) apresentou um percentual de perda por intercepção bastante significativo de aproximadamente 19,85%. Esse resultado nos mostra a importância de se levar em consideração as perdas por intercepção nos cálculos do balanço hídrico, principalmente quando se trata de regiões áridas e semiáridas, onde esse elemento é extremamente escasso e precisa ser utilizado de forma consciente e sustentável.

O valor médio de intercepção encontrado por Izidio et al. (2013), avaliando Caatinga densa no Ceará, foi de 17,44%, valor bem próximo ao valor médio de intercepção encontrado nesse estudo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Albuquerque e Costa (2012), que estudando a intercepção de chuva em diferentes fisionomias de Caatinga no município de Coreaú - CE encontraram um valor médio de intercepção de 22,75% para uma Caatinga Arbórea.

Os valores percentuais de precipitação interna encontrados indicaram que aproximadamente 80,15% da precipitação total consegue atravessar o dossel da vegetação da Caatinga e atingir a superfície do solo. O percentual de precipitação interna bem próximo ao obtido por Izidio et al. (2013) que avaliando uma Caatinga arbóreo-arbustiva em elevado nível de conservação, encontraram um valor de 76,5% de precipitação interna. Consta-se que o valor percentual da precipitação interna e das perdas por intercepção (80,15 e 19,85%) da vegetação da Caatinga em Serra Talhada apresentam semelhança aos de outros tipos vegetacionais (Tabela 6). Essa comparação é importante, pois a cobertura vegetal é um dos aspectos que mais influenciam na variação entre as medidas de intercepção em outras regiões.

Tabela 6. Comparação da precipitação interna e perdas por interceptação, em regiões com diferentes tipos de cobertura vegetal

Referência	P interna I		Local	Tipo de vegetação
	(%)	(%)		
Este estudo	79,21	20,19	Serra Talhada - PE	Caatinga densa
Arcova et al. (2003)	81,2	18,6	Cunha - SP	Mata Atlântica
Oliveira et al. (2008)	76,8	21,5	Caxiuanã - AM	Floresta Tropical
Moura et al. (2009)	84,9	12,7	Recife - PE	Mata Atlântica
Medeiros et al. (2009)	81,00	13,00	Aiuaba - CE	Catinga densa
Lorenzon et al. (2013)	85,08	14,92	Viçosa - MG	Floresta*
Lorenzon et al. (2013)	74,93	25,07	Viçosa - MG	Floresta**
Amorim (2013)	87,00	13,00	Soledade - PB	Caatinga raleada
Amorim (2013)	81,00	19,00	Soledade - PB	Caatinga densa

I - Interceptação de chuva, *Floresta em estágio de regeneração inicial e **Floresta em estágio de regeneração avançado

Na Figura 16 são apresentadas as distribuições mensais das precipitações totais (acima do dossel) e internas (abaixo do dossel), além das interceptações pelo dossel da Caatinga.

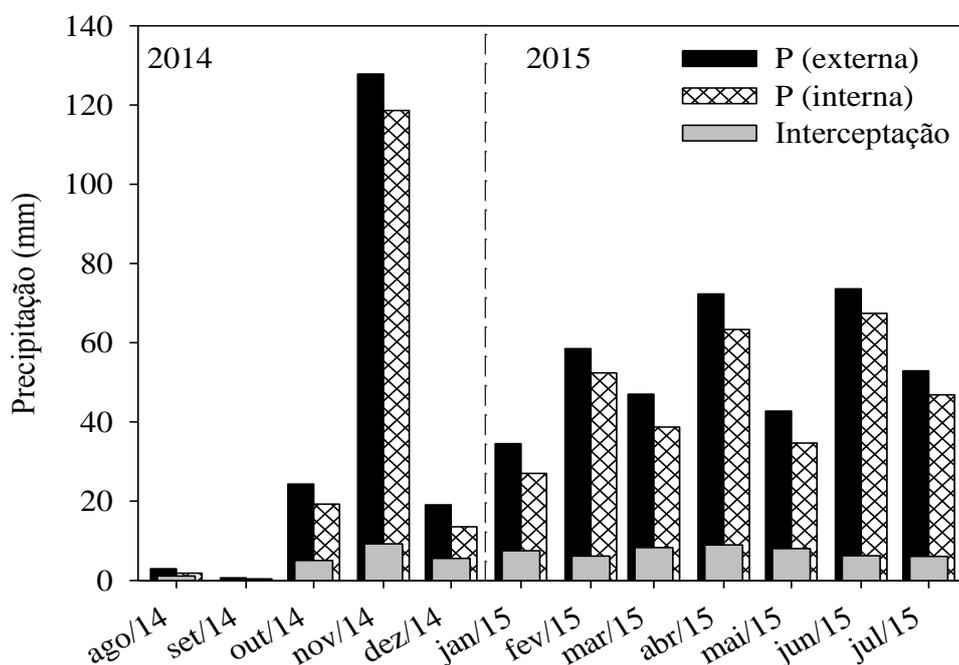


Figura 16. Precipitação externa, interna e interceptação das chuvas em área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE

Durante o período estudado a proporção entre a precipitação total e a precipitação interna não sofreu grandes variações, exceto para novembro de 2014 e junho de 2015 que apresentaram os maiores percentuais de precipitação interna com 92,78 e 91,57% da precipitação total respectivamente (Tabela 5). O maior percentual para esses meses pode ser explicado pela resposta da vegetação aos eventos de chuvas ocorridos nesses meses, caracterizados como meses de escassez de chuvas de acordo com a normal climatológica para o município de Serra Talhada. Os eventos de chuva ocorridos nesses meses foram atípicos, já que choveu 282 e 158% a mais que a normal climatológica para novembro de 2014 e junho de 2015, respectivamente (Figura 9).

Além da perda de massa foliar pelo dossel da vegetação da caatinga (Figura 17), ocorreram cinco eventos de chuva com magnitudes bem distintas no período seco: três com chuvas de 4 mm, um com chuva de 22 mm e um com de chuva com aproximadamente 94 mm. A associação entre a redução da capacidade do armazenamento de água pelo dossel nesse período com a magnitude dos eventos de chuva foram as principais causas do aumento da precipitação interna para esse mês.



Figura 17. Aspecto da vegetação no período seco na área de Caatinga no município de Serra Talhada - PE

De maneira geral, os trabalhos que estudam o processo de interceptação das chuvas tanto na vegetação da Caatinga, quanto em outros tipos vegetacionais (ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2008; MOURA et al., 2009; MEDEIROS et al., 2009; IZIDIO et al., 2013), mostram que o percentual de interceptação é alterado em função da lâmina de água que atinge

o dossel da vegetação, bem como a intensidade e a duração das chuvas. As pesquisas têm demonstrado que eventos de chuvas menores proporcionam maiores perdas por interceptação, enquanto que os eventos de chuva de lâmina maior promovem uma perda de interceptação menor, pois nesse caso, quando a capacidade máxima de armazenamento de água pelo dossel da vegetação (S_{max}) é atingida, a água excedente contribuirá para o aumento da precipitação interna.

3.2.2 Variação do armazenamento de água no solo (ΔA_Z)

O armazenamento de água no solo na área de Caatinga apresentou uma variação entre -9,33 e 11,78 mm, atingindo um valor total de -8,57 mm durante todo período de avaliação. Na área de pastagem ΔA_Z variou entre -20,74 e 22,65 mm, com valor total de 3,24 mm (Figura 18).

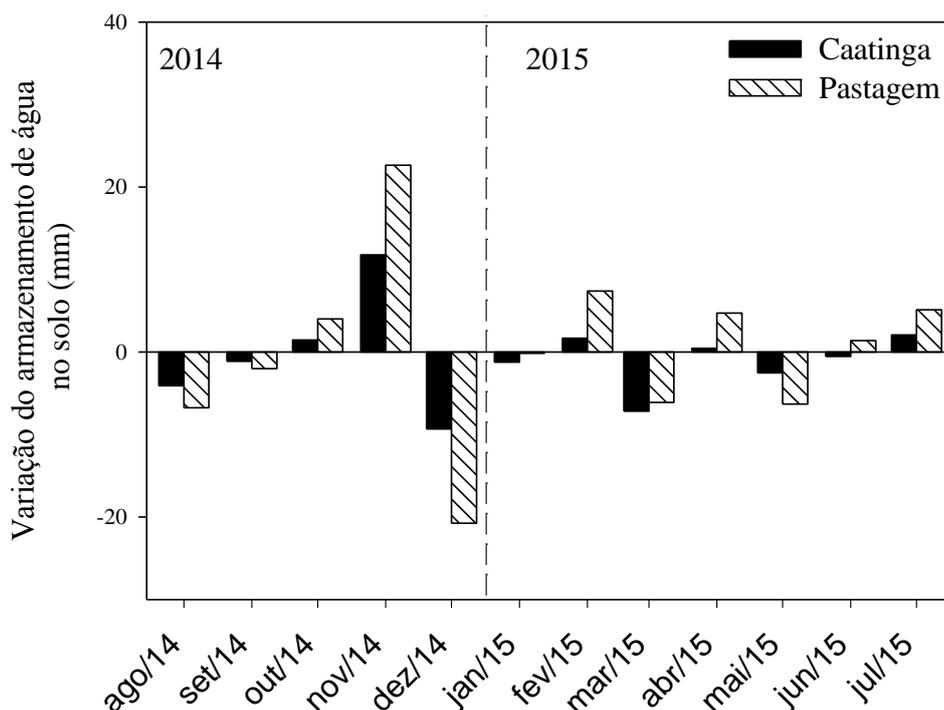


Figura 18. Variação do armazenamento de água no solo em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

De acordo com a explicação dada por Silva et al. (2014) estudando o balanço hídrico em Neossolo Regolítico, pode-se dizer que, a ΔA_Z corresponde ao saldo de água no solo. No intervalo de tempo considerado, as entradas de água no volume de solo foram maiores que as saídas (evapotranspiração, escoamento e drenagem) e ΔA_Z foi positiva nos meses de outubro e

novembro de 2014 e em fevereiro, abril e julho de 2015, para a Caatinga e a pastagem. Na pastagem, ΔA_z também foi positiva no mês de junho de 2015. Nos meses de agosto, setembro e dezembro de 2014 e janeiro, março, maio e junho de 2015, os valores de ΔA_z para Caatinga foram negativos, indicando que as entradas de água no volume de solo foram menores que as saídas nesses meses. Na pastagem o saldo negativo ocorreu nos meses de agosto, setembro e dezembro de 2014 e janeiro, março e maio de 2015.

Embora os dois solos apresentem a mesma distribuição de classe textural ao longo de seus perfis (Tabela 2), o teor de argila nas camadas mais profundas (0,30 - 0,40 m) da pastagem é quase duas vezes maior que o da Caatinga. O que também contribuiu para uma maior retenção de água no perfil de solo da pastagem, apresentando ao final da pesquisa um saldo positivo de 3,24 mm.

Nos meses em que ocorreram ganhos de água o saldo positivo para área de Caatinga foi sempre menor quando comparado com de pastagem. A perda por interceptação na área de Caatinga e o consumo de água pela vegetação foram os principais fatores responsáveis pelo menor saldo de água ao final de cada mês, pois além de uma menor lâmina de água atingir o solo, boa parte foi consumida pelo processo de evapotranspiração. .

Em agosto e setembro de 2014, por se tratarem dos meses de maior escassez hídrica, as duas áreas apresentaram proporções semelhantes de perda de água, ou seja, os valores de ΔA_z foram 3,6 e 3,3 vezes menores nas áreas de Caatinga e pastagem, respectivamente. Essa proporção de perda semelhante nas duas áreas para esses meses se deve ao fato de que as plantas se encontram em estado de latência imposta pela condição ambiental, predominando assim o processo de evaporação já que a vegetação da Caatinga havia perdido toda sua massa foliar, além das precipitações nesses meses serem praticamente semelhantes nas duas áreas.

Com o início das chuvas no mês de outubro de 2014, a variação do armazenamento de água nos dois locais passa a ser positiva e atinge seu valor máximo no mês de novembro de 2014. Nesse intervalo, a Caatinga eleva em oito vezes o seu valor de ΔA_z , passando de 1,46 mm no mês de outubro, para 11,78 mm no mês de novembro de 2014, enquanto que a pastagem aumenta em seis vezes o valor de ΔA_z , passando de 4,0 mm no mês de outubro para 22,65 mm no mês de novembro (Figura 18).

No mês mais chuvoso (novembro de 2014) a ΔA_z apresentou valores positivos de maior proporção, indicando que nesse mês houve um maior ganho de água para os dois solos. Entretanto o solo da pastagem armazenou quase duas vezes mais água, ou seja, 10,87 mm (48% a mais de água) que o solo da Caatinga. Esse resultado deixa claro que, além da maior

capacidade de retenção de água no solo em função do seu maior teor de argila, a reativação do metabolismo das plantas da pastagem contribuiu para esse resultado. Essa dinâmica também é observada para os meses de outubro de 2014 e fevereiro, abril e julho de 2015.

Nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015, as chuvas reduziram consideravelmente, e com isso ΔA_z passou a ser negativo, indicando perda de água no solo. A Caatinga perdeu água na mesma proporção que ganhou nos meses antecedentes. Já a pastagem perdeu em proporção significativamente maior, 10% a mais que a Caatinga. Esse resultado deixa claro o papel importantíssimo da cobertura vegetal atuando como agente controlador da umidade do solo. De acordo com Yang et al. (2014) a vegetação exerce forte influência sobre o ciclo da água e sua interação é essencial para o funcionamento dos processos ecológicos, principalmente quando se trata de regiões áridas e semiáridas.

O maior teor de argila nas camadas mais profundas (0,2 - 0,4 m), a quantidade e a intensidade com que as chuvas atingem o solo, a ausência de interceptação na área de pastagem, são alguns dos fatores que podem explicar essa variação, além das perdas por evapotranspiração, onde a vegetação consome parte dessa água.

3.2.3 Fluxo vertical de água no solo (Q_z)

O potencial matricial foi estimado por meio da equação de Van Genuchten (1980) (Equação 8), com os parâmetros da curva de retenção obtidos pela metodologia Beerkan para cada profundidade (Tabela 7). De acordo com os dados apresentados na Tabela 7 e com as respectivas curvas de retenção da Figura 19, percebe-se que não existe uma grande variação na capacidade de reter água desses solos, com exceção da camada superficial da área de Caatinga.

Tabela 7. Parâmetros da curva de retenção de água no solo obtidos pela metodologia Beerkan para área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

Camadas (cm)	θ_s ($m^3 \cdot m^{-3}$)	hg (mm)	n (-)	m (-)
Caatinga				
0 - 10 cm	0,548	-32,2	2,226	0,101
10 - 20 cm	0,477	-114,2	2,221	0,099
20 - 30 cm	0,470	-121,1	2,238	0,105
30 - 40 cm	0,438	-139,8	2,226	0,100
40 - 50 cm	0,437	-289,1	2,204	0,091
Pastagem				
0 - 10 cm	0,479	-70,7	2,193	0,088
10 - 20 cm	0,445	-107,4	2,184	0,084
20 - 30 cm	0,486	-187,6	2,177	0,081
30 - 40 cm	0,497	-68,7	2,136	0,063
40 - 50 cm	0,451	-128,3	2,143	0,066

Parâmetros da equação de van Genuchten: θ_s a umidade volumétrica saturada, h_g um valor de escala de h; m e n são parâmetros de forma

Definidos os parâmetros de forma (m e n) e de normalização (θ_s e h_g) para a Equação 8, construíram-se as curvas $h(\theta)$ (Figura 19) para os dois perfis de solo. Em cada curva, o ponto de origem, θ_s , foi determinado durante os ensaios de infiltração e eles apresentam claramente a inflexão característica do modelo, logo após a saturação, correspondente ao valor do potencial de entrada de ar (h_g) na matriz porosa do solo. Analisando a superfície do solo da Caatinga, observa-se que a variação no teor de umidade é bem maior que o das demais profundidades. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior teor de matéria orgânica e concentração de raízes nessa camada de solo. De acordo com Silva et al. (2006) uma maior quantidade de matéria orgânica pode promover um aumento da área superficial específica do solo fazendo com que aumente a retenção de água.

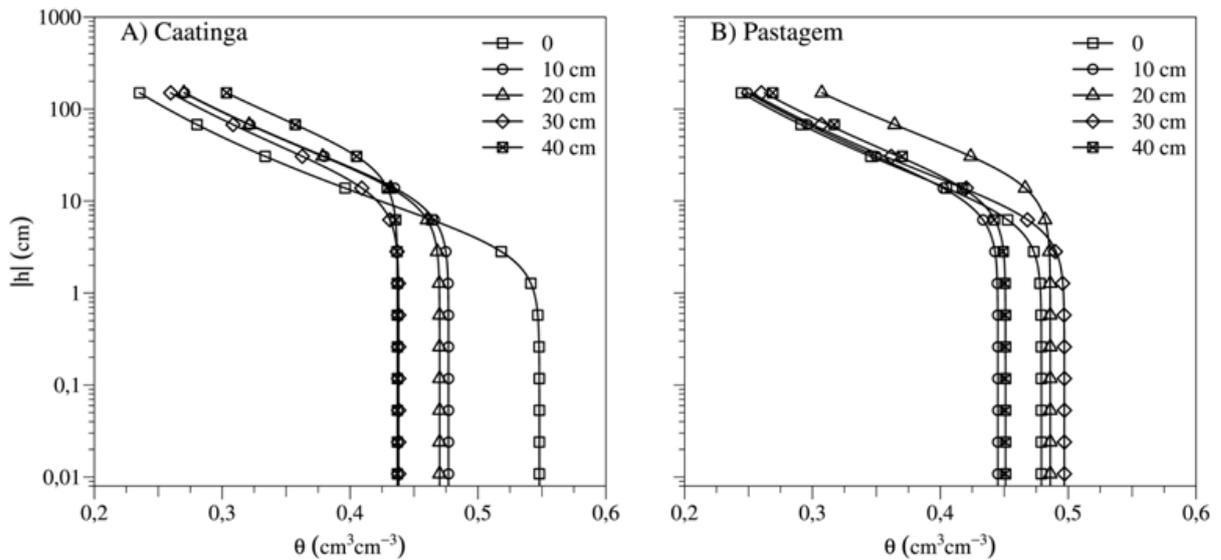


Figura 19. Curva de retenção de água no solo para área de Caatinga (A) e pastagem (B) no município de Serra Talhada - PE

Foram realizadas 365 observações no tempo, cada uma resultando em um conjunto de dados, aos quais foi ajustada a Equação 9. Na Figura 20, a título de exemplo, são apresentadas algumas curvas ajustadas, utilizadas com a finalidade de determinar a profundidade do plano de fluxo zero (Z_{PFZ}) para cada tempo. As Figuras 20a e 20c representam as polinomiais de um dia chuvoso com 93,97 mm na Caatinga e 80,5 mm na pastagem. Nesse dia ocorreu drenagem de 43,8 e 23 mm dia⁻¹ nas respectivas áreas. As Figuras 20b e 20d representam as polinomiais de 5 e 6 dias após a chuva nas duas áreas, respectivamente. Nesse momento o fluxo de água no solo na profundidade $z = 0,30$ m passou a ser ascendente, atingindo valores de 3,0 mm dia⁻¹ na Caatinga e 3,4 mm dia⁻¹ na pastagem. Esses comportamentos de variações do fluxo na profundidade Z se repetiram ao longo do tempo, conforme apresentados na Figura 21.

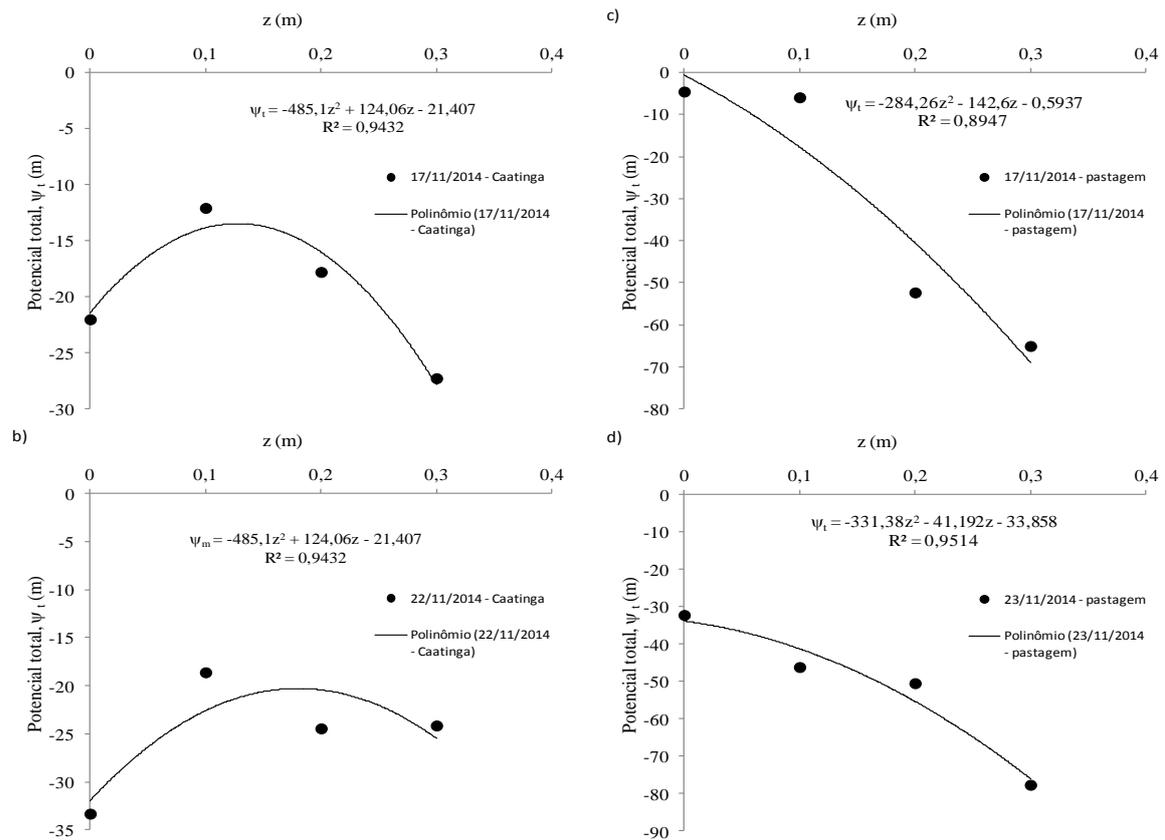


Figura 20. Potencial total (Ψ_t) em função da profundidade (z) nos dias 17 e 22/11/2014 para a Caatinga e 17 e 23/11/ 2014 para a pastagem

As equações polinomiais das 365 observações realizadas apresentaram 88 e 69 % dos coeficientes de determinação acima de 0,7 para Caatinga e pastagem respectivamente. Apenas 12 e 31 % dos coeficientes de determinação se encontraram abaixo de 0,7, mostrando que a Equação 9 representa bem o fenômeno estudado.

O plano de fluxo zero (PFZ) variou com os perfis de umidade dos dois solos. Nos dias chuvosos, a tendência do fluxo vertical foi ser descendente, de acordo com o Z_{PFZ} , depois que cessaram as chuvas. À medida que os solos secaram, devido à evapotranspiração, o Z_{PFZ} se deslocou para baixo. Entretanto, com o retorno das chuvas, o potencial total nas suas superfícies aumentou e foi criado um novo Z_{PFZ} . A posição de Z_{PFZ} variou de 0,06 a 0,59 m, na Caatinga, e 0,04 a 0,56 m, na pastagem, comprovando a contribuição das camadas inferiores na evapotranspiração através de fluxos de ascensão capilar.

Pinheiro (2010) determinou *in situ* a profundidade efetiva das raízes de uma Caatinga preservada para fins de balanço hídrico e verificou que essa profundidade variou entre 0,36 e 0,73 m, podendo sofrer redução de até 0,1 m no período seco. Partindo-se deste contexto e considerando que o maior volume de raízes esteja a uma profundidade de 30 cm, tanto na área

de Caatinga, quanto na pastagem, analisando a variação do Z_{PFZ} é possível afirmar que existe uma contribuição das camadas inferiores na evapotranspiração através de fluxos de ascensão capilar logo após o início do período chuvoso.

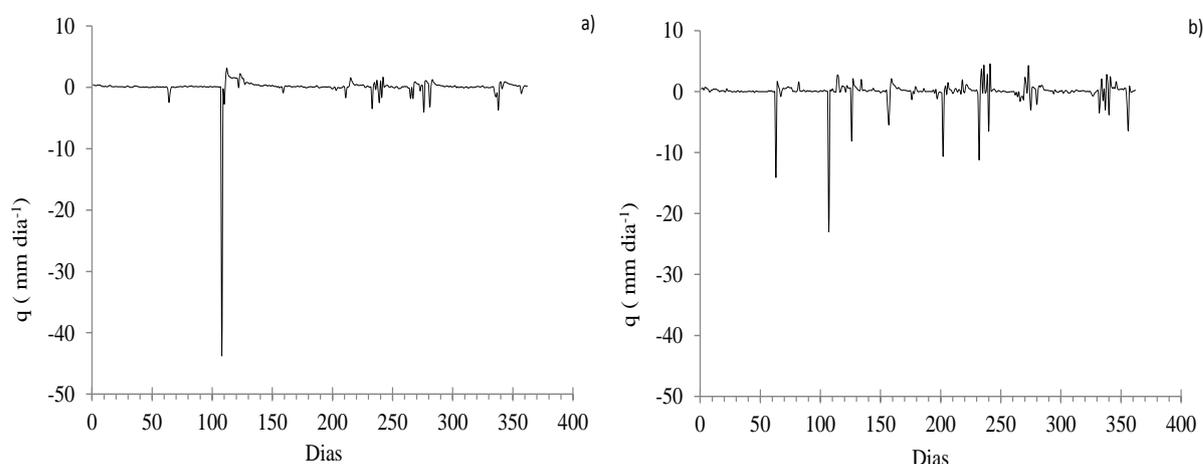


Figura 21. Variação do fluxo de drenagem e ascensão capilar (q_z) no volume de controle ($z = 0,30$ m) nas áreas de Caatinga e Pastagem

Os fluxos de drenagem profunda atingiram valores máximos de $43,8$ e 23 mm dia^{-1} para Caatinga e pastagem respectivamente (Figura 21). Embora tenham ocorrido chuvas com as mesmas magnitudes em ambas as áreas, de dezembro em diante (100-365 dias), as perdas por drenagem ocorreram com maior frequência e intensidade na área de pastagem. O mesmo não ocorre na Caatinga devido ao aumento da extração de água, em decorrência do maior desenvolvimento do sistema radicular e maior interceptação das chuvas pelo dossel.

As lâminas diárias de drenagem profunda e ascensão capilar nas duas áreas foram agrupadas mensalmente e são apresentadas na Figura 22. Notadamente os meses que mais contribuíram para a ascensão capilar foram os meses de agosto e dezembro de 2014 e março de 2015, com 14,4, 46,5 e 18,2% da lâmina total de ascensão capilar, na Caatinga, 20,8, 22,7 e 29,0%, na pastagem. Nesse período, o fluxo ascendente na área de Caatinga foi superior em 32% ao de pastagem, contribuindo tanto para o aumento da evapotranspiração, como também para o acréscimo de água no volume de controle do solo (0 - 0,30 m).

A ascensão capilar representou 7,40 e 6,01% da precipitação para Caatinga e pastagem respectivamente, enquanto que a drenagem correspondeu a 6,23 e 10,12% para as respectivas áreas. Silva et al. (2014) quantificando os componentes do balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária, considerando o fluxo de água no limite inferior ($Z = 0,30$

m), encontraram uma drenagem interna de 103,14 mm, o que representou uma perda de 24,12 %.

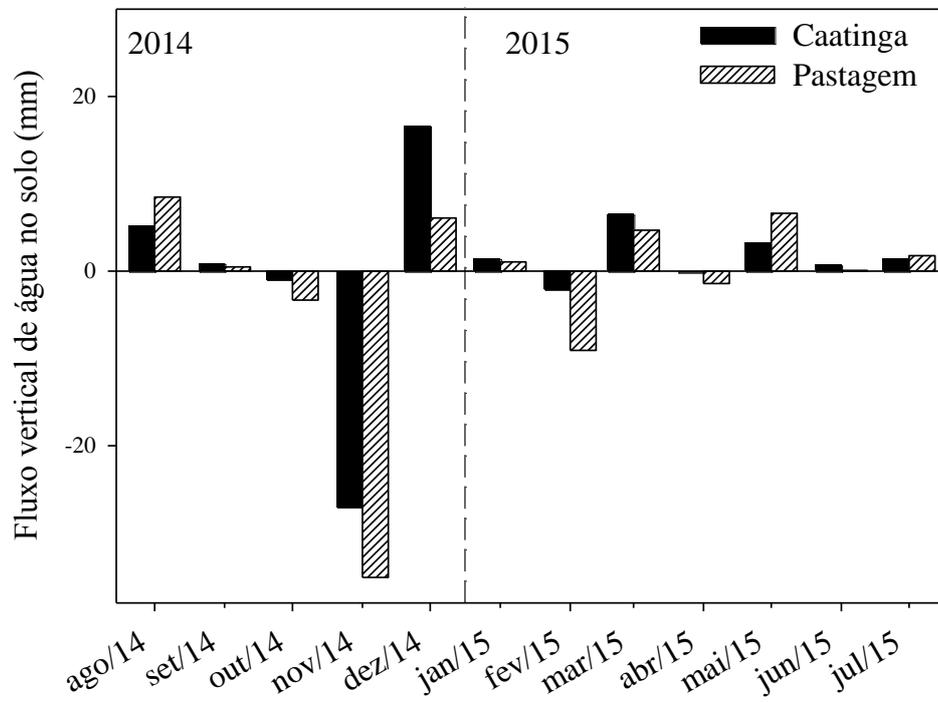


Figura 22. Distribuição mensal do fluxo vertical (Q_z) de água no solo na área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

3.2.4 Escoamento superficial (ES)

Avaliando a distribuição mensal da lâmina escoada nas duas áreas (Figura 23), nota-se que o escoamento superficial é uma resposta rápida à precipitação, ocorrendo perdas somente nos meses mais chuvosos (outubro, novembro e dezembro de 2014 e abril e maio de 2015).

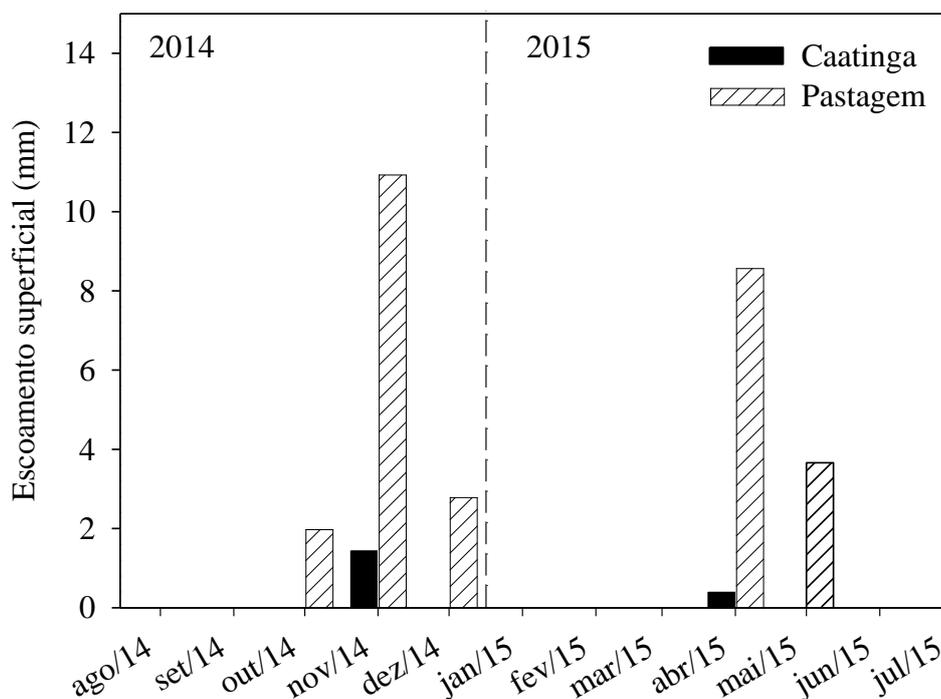


Figura 23. Escoamento superficial de água no solo em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

Na Caatinga foi escoada uma lâmina anual média igual a 1,8 mm, enquanto que na pastagem essa lâmina foi de 28,0 mm. Assim, a lâmina escoada na área de Caatinga, em relação à precipitação interna, ou seja, o que realmente chegou ao solo (483,87 mm) representou um percentual de perda de 0,37%, enquanto que a lâmina de escoamento superficial na área de pastagem representou 5,77 % da precipitação total nesta área (485,45 mm), mostrando que estas áreas apresentaram percentuais de perda bem distintos, uma vez que o tipo de cobertura vegetal é diferente.

Um estudo realizado por Santos et al. (2007), onde os autores avaliaram as perdas de água e solo em diferentes tipos de cobertura vegetal (área de Caatinga nativa e solo revolvido) realizado no Estado da Paraíba, verificaram que, o solo revolvido escoou aproximadamente cinco vezes mais água que a Caatinga nativa. A lâmina escoada no solo revolvido foi em

torno de 26% da precipitação média anual (707 mm), já na Caatinga nativa esse percentual foi de 4%.

Neste estudo, o percentual de perda por escoamento superficial para área de pastagem ficou abaixo do resultado encontrado por Souza et al. (2015) que, quantificando os componentes do balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano, encontraram um percentual médio para os dois anos de avaliação de 24,46%. É importante ressaltar que, o ES é uma variável influenciada por diversos fatores, dentre eles, a topografia, as características da chuva como intensidade e duração, bem como a capacidade de infiltração do solo e o tipo de vegetação.

De maneira geral, são poucos os artigos que mediram os componentes do balanço hídrico e quantificaram essa variável, principalmente quando se trata de regiões áridas e semiáridas. No entanto, nota-se que as perdas por escoamento superficial se apresentam bastante significativas e a desconsideração desse componente no cálculo do balanço hídrico pode provocar erros significativos.

Esses resultados indicam que, de maneira geral, a existência da cobertura vegetal exerce papel primordial na manutenção do funcionamento ec hidrológico em ambientes áridos e semiáridos atuando como importante sistema de captação e condução de água para as plantas. Já a sua ausência, torna as áreas mais susceptíveis a erosão e lixiviação de nutrientes, acelerando além do processo de degradação dos solos, a desertificação dessas áreas.

Desta forma, esses dados ressaltam o importante papel que a cobertura vegetal pode desempenhar no controle das perdas de água por escoamento superficial, principalmente, quando considerada a irregularidade temporal e espacial das chuvas nas regiões semiáridas.

3.2.5 Evapotranspiração real (ETr)

A ETr seguiu a distribuição temporal do conteúdo de água no solo, decorrente principalmente da distribuição das chuvas. Os valores de evapotranspiração real da Caatinga e da pastagem foram agrupados em escala mensal e são apresentados na Figura 24.

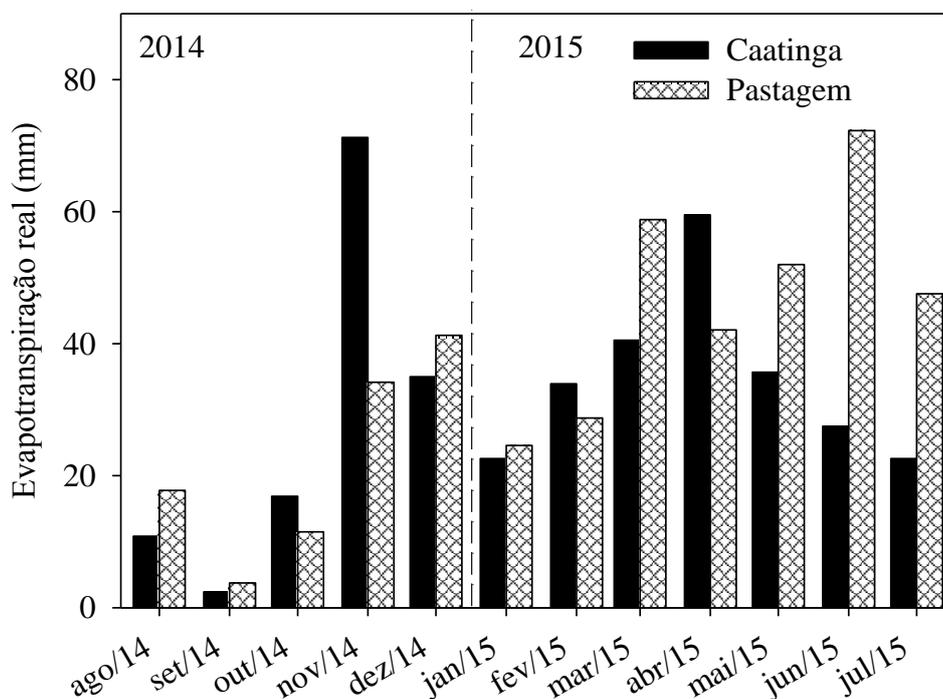


Figura 24. Evapotranspiração real em área de Caatinga e pastagem no município de Serra Talhada - PE

A evapotranspiração real total foi de 496,31 mm para Caatinga e 434,43 mm para pastagem, o que representa 102,6 e 89,5% da precipitação total que atingiu o solo nas respectivas áreas. A ETr total para área de Caatinga está acima do valor encontrado por Barbosa et al. (2011) em área de Caatinga encontrando um valor de 417 mm ano⁻¹ e dentro da faixa indicada por Teixeira et al. (2008), que destacam valores entre 398 e 688 mm ano⁻¹.

O valor de ETr obtido para área de pastagem foi superior ao encontrado por Silva et al. (2015) que estudando uma área de pastagem no semiárido pernambucano encontraram para uma condição semelhante de precipitação, uma ETr de 372,67 mm, obtida a partir do fluxo de calor latente (LE) obtido pelo método da covariância dos vórtices turbulentos, o que pode justificar a diferença existente entre os valores obtidos, já que foram utilizadas diferentes metodologias.

O acréscimo de 2,6% na ETr da área de Caatinga indica que a vegetação evapotranspirou mais do que realmente chegou ao solo através da precipitação interna que foi de 483,87 mm, sendo essa diferença de 12,44 mm. Esse resultado pode ser explicado pela chuva (32 mm) ocorrida no final do mês que antecedeu o início do monitoramento (julho de 2014), já que no mês de agosto de 2014 choveu apenas 2,96 mm e evapotranspirou 11,05 mm.

A área de Caatinga evapotranspirou 61,88 mm anuais a mais que a pastagem. Os menores valores de ETr, tanto na Caatinga quanto na pastagem ocorreram nos meses com maior restrição de água no solo (agosto, setembro e outubro de 2014) onde a Caatinga evapotranspirou 11,05, 2,40 e 16,89 mm mês⁻¹ e a pastagem 17,76, 3,76 e 13,49 mm mês⁻¹, para os respectivos meses.

Nos meses de agosto e setembro de 2014, a ETr da pastagem foi maior que a da Caatinga. No entanto, com o início das chuvas no mês de outubro de 2014, nota-se que, a Caatinga evapotranspirou mais que a pastagem, sendo 31,85 e 56,41% a mais para os meses de outubro e novembro de 2014, respectivamente.

Com o aumento significativo da precipitação pluvial, a evapotranspiração atingiu taxas maiores alcançando 2,6 e 1,14 mm dia⁻¹ no mês de novembro de 2014, o que representou, quando comparado com o mês de outubro de 2014, aumentos de 464,76 e 297,28% para Caatinga e pastagem, respectivamente. O aumento da disponibilidade de água no solo com os pulsos de precipitação induz a vegetação da Caatinga a sair do estado de latência e aumentar a energia metabólica requerida para o crescimento das plantas. Nesse momento a transpiração aumenta e contribui para elevar a taxa de evapotranspiração real significativamente quando comparado à área de pasto.

Essa resposta é clara quando se analisa a transição entre o período seco e chuvoso, entre agosto e dezembro de 2014, principalmente no mês de novembro de 2014 onde a evapotranspiração real da Caatinga ultrapassa a ETr da área de pastagem, confirmado que, quando a água torna-se disponível, o funcionamento biológico em regiões áridas e semiáridas se apresenta em pulsos de atividade, ou seja, as taxas resultantes da atividade metabólica podem muitas vezes superar as de ambientes mais úmidos (JENERETTE et al., 2008).

Esses pulsos de atividade influenciaram diretamente na variação da umidade do solo, uma vez que as taxas de evapotranspiração nesse período aumentaram expressivamente, o que comprova a redução do armazenamento de água no solo de forma mais expressiva na Caatinga (Figura 10). Algumas pesquisas desenvolvidas em regiões semiáridas como na China e no México, deixaram evidente que, o tipo de vegetação, as condições de crescimento

e a evapotranspiração, influenciam significativamente e podem alterar, além da dinâmica temporal, a distribuição espacial da umidade superficial e profunda do solo (HUPET E VANCLOOSTER, 2002; CHEN et al., 2007; VIVONI et al., 2008).

Nos meses de dezembro de 2014 e janeiro, março, maio, junho e julho de 2015 a ETr na pastagem superou os valores da Caatinga. A maior ETr da pastagem nesses meses pode ser explicada pela quantidade de água que chegou ao solo, onde na pastagem, nesses meses, choveu mais que a Caatinga. Além disso, algumas questões ecofisiológicas intrínsecas as espécies da Caatinga, como o rígido controle da transpiração, principalmente no que se refere à velocidade do fechamento estomático, em função do aumento do déficit de vapor da atmosfera mesmo havendo uma condição favorável de disponibilidade hídrica, pode ter influenciado o resultado ETr nesses meses (LIMA FILHO, 2004).

4 CONCLUSÃO

Do total precipitado na área de Caatinga, 19,85 % (72,45 mm) é interceptado pelo dossel da vegetação, voltando para a atmosfera na forma de vapor d'água. 80,15% atinge o solo na forma de precipitação interna, 0,37% é perdido por escoamento superficial, 6,23% é perdido por drenagem e 102,57% retornar a atmosfera pelo processo de evapotranspiração.

Na pastagem, do total precipitado, 5,77% é perdido na forma de escoamento superficial, 10,10% por drenagem e 89,49% é consumido pelo processo de evapotranspiração.

A capacidade de armazenamento de água do dossel da caatinga aumenta cerca de 50% na estação chuvosa em comparação com a estação seca. O modelo de interceptação ajustado para a Caatinga mostrou dois distintos patamares de estabilização da interceptação. O patamar é atingido quando a chuva é superior a 40 mm, na estação seca, e 60 mm, na estação chuvosa, ou seja, em termos relativos, uma maior quantidade de água atinge a superfície do solo para eventos superiores a esses valores nas respectivas estações.

Com base nos dados dessa pesquisa, pode-se inferir que a substituição de vegetação nativa por pastagem interfere consideravelmente na variação dos componentes do balanço hídrico, indicando estreita relação entre as variáveis climáticas analisadas, além de confirmar as previsões acerca dos impactos climáticos decorrentes dessa ação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. N. B.; COSTA, J. S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de caatinga. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 10, p. 63 – 73, 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 326 p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.

AMORIM, Laerte Bezerra. **Status hídrico de solo e planta em um ambiente semiárido associado com a interceptação pluvial**. 2013. 100 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares - Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Energia Nuclear, Recife - PE.

ANDRADE, C.L., SEDIYAMA, G.C., COUTO, L. et al. Balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão. **Ceres**, v.35, n.197, p.89-104, 1988.

ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MACIEL NETTO, A.; ANGULO-JARAMILLO, R.; LIRA, C.A.B.O. Sub irrigation of land bordering small reservoirs in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: Monitoring and Water balance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 73, n. 2, p. 131 – 147. 2005.

ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do conhecimento. **Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação. Expressão Gráfica e Editora**, p. 115-128, 2003.

ARAÚJO, E.L.; CASTRO, C.C.; ALBUQUERQUE, U.P. Dynamics of Brazilian Caatinga. A Review Concerning the Plants, Environment and People. **Functional Ecosystems and Communities**. v. 1, n. 1, p. 15-28, 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

ASNER GP, ARCHER S, HUGHES RF, ANSLEY RJ, WESSMAN CA. Netchanges in regional woody vegetation cover and carbon storage in Texas Drylands, 1937–1999. **Global Change Biology**, v. 9, p. 316–335. 2003.

ASTON, A. R. Rainfall interception by eight small trees. **Journal of hydrology**, v. 42, n. 3, p. 383-396, 1979.

BARBOSA, M. L., SILVA, T. G. F. DA, SOUZA, L. S. B. DE, MOURA, M. S. B. DE. Estimativa de projeções futuras da evapotranspiração da caatinga em resposta ao aumento da resistência estomática. **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Guarapari, 2011.

BIUDES, M.S.; CAMPELO-JÚNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 135-143, 2009.

BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; DALMAGRO, H.J.; MACHADO, N.G.; DANELICHEN, V.H.M.; SOUZA, M.C. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, p. 61-68, 2012.

BROWN, L. Pastos mundiais se deterioram sob pressão crescente. Disponível in www.wwiuma.org.br

BURBA, G.; MADSEN, R.; FEESE, K. Eddy Covariance Method for CO2 Emission Measurements in CCUS Applications: Principles, Instrumentation and Software. **Energy Procedia**, v. 40, p. 329-336, 2013.

CÂNDIDO, M.J.D. Pastagens no ecossistema semi-árido brasileiro: Atualização e perspectivas futuras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: **SBZ**, p. 85-94, 2005.

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

CHEN, L., HUANG, Z., GONG, J., FU, B., HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the Loess Plateau. **Catena**, 70 p. 200–208, 2007.

CHESSON, P.; GEBAUER, R. L. E.; SCHWINNING, S.; HUNTLY, N.; WIEGAND, K.; ERNEST, M. S. K.; SHER, A.; NOVOPLANSKY, A. AND WELTZIN, J. F. Resource pulses, species interactions, and diversity maintenance in arid and semi-arid environment. **Oecologia**, v. 141, p. 236-253, 2004.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro. **Bertrand Brasil**, p. 93-148, 2007.

COELHO, I. A. M., DUARTE, S. M. A., COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens. **Revista Geama**, v. 2, n. 1, 2015.

MATA, M. das V. M. et al. Emissões de CO2 Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

SILVA, B. H. N. S. et al. Composição morfológica de pastagem degradada submetida à estratégias de manejo e adubação nitrogenada. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 2, n. 14, 2015.

SOUSA, M. I. de F., BARBOSA, J. J., COSTA, C. T. F. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, v. 4, n. 2, p. 61-77, 2015.

SILVA, T. M., CAMELLO, T. C. F., ALMEIDA, J. R. Impactos ambientais hidrológicos ocasionados pelo desflorestamento metropolitano: Petrópolis, RJ. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, p. 53-64, 2015.

DALMOLIN, R. S. D; CATEN, A. Uso da terra dos Biomas Brasileiros e o impacto sobre a qualidade do solo. **Entre-Lugar**, p. 181- 193, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, PA, 36p. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**, 1979. 247p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, EMBRAPA, 2006.

FAO. The state of food and agriculture. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/dcsAFD>. Acesso em: 25 mar. 2016. FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA DA COSTA, R.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, p. 1-7, 1998.

FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA DA COSTA, R.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. FERREIRA FILHO, J. **Análise de tempo de amostragem para cálculos de fluxo em sistema de covariância de vórtices turbulentos, para floresta de transição no sudoeste da Amazônia**. Cuiabá, 2004. 63 p. Dissertação - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

FERREIRA, A., BAPTISTA, I., TAVARES, J. **A luta contra a desertificação em Cabo Verde**. 2015.

FRANCISCO, P. R., CHAVES, I. B., CHAVES, L. H. G., LIMA, E. R. V., SILVA, B. B. Análise espectral e avaliação de índices de vegetação para o mapeamento da caatinga. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 01-12, 2015.

GIULIETTI, A.M., BOCAGE NETA, A.L., CASTRO, A.A.J.F. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma da caatinga** In: BIODIVERSIDADE DA CAATINGA: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília: MMA-UFPE; Brasília, DF: 2004. p.47-90.

HUPET, F., VANCLOOSTER, M., 2002. Intraseasonal dynamics of soilmoisture variability within a small agricultural maize cropped field. **J. Hydrol.** 261, 86–101.

HURTADO, A.L.B; CICHOTA, R; VAN LIER, Q. De J. Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. **R. Brás. Ci. Solo**, Viçosa, V.29, n.2, p.301-307, 2005.

IBGE. **Censo agropecuário 1920/2006**. Até 1996, dados extraídos de: Estatística do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: < <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

IZIDIO, N. S. C. et al. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente**, v.7, n.1, p.44-52, 2013.

JACKSON, R. B., JOBB´AGY, E. G., and NOSETTO, M. D. Ecohydrology in a human-dominated landscape, **Ecohydrology**, 2, 383–389, doi:10.1002/eco.81, 2009.

JENERETTE GD, SCOTT RL, HUXMAN TE. Whole ecosystem metabolic pulses following precipitation events. **Functional Ecology**, v. 22, p.924–930. 2008.

JOHNSON, L. F.; TROUT, T. J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California’s San Joaquin Valley. **Remote Sensing**, 4(2): 439-455, 2012.

KELLEENERS TJ, CHANDLER DG, MCNAMARA JP, GRIBB MM, SEYFRIED MS. Modeling runoff generation in a small snow-dominated mountainous catchment. **Vadose Zone Journal**, v. 9, p. 517–527. 2010.

KÖPPEN, Wladimir Peter et al. Grundriss der klimakunde. 1931.

KUNDZEWICZ, Z. W. Ecohydrology—seeking consensus on interpretation of the notion. **Hvclrol. Sci. J.** 47(5), 799-804, 2002.

LASSABATÈRE, L., ANGULO-JARAMILLO, R., SORIA UGALDE, J.M., CUENCA, R., BRAUD, I., HAVERKAMP, R. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments – BEST. **Soil Sci. Soc. Am. J.** p. 521-532, 2006.

LEAL, I. R., TABARELLI, M., SILVA, J. M. C. Ecologia e conservação da caatinga: uma introdução ao desafio. In: Leal, I. R., Tabarelli, M., Silva, J. M. C. (Eds). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife Ed. Universitária da UFPE, p. 13-16, 2003.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 335p. 2005.

LIMA FILHO, J. M. P. **Ecofisiologia de plantas da caatinga**. EMBRAPA, 2004. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/153084>> Acesso em: 11 mai. 2016.

LOIK, M. E.; BRESHEARS, D. D.; LAUENROTH, W. K.; BELNAP, J. Climatology and ecohydrology of precipitation pulses in arid and semiarid ecosystems of the western USA. **Oecologia**, v. 141, p. 69 – 81, 2004.

LORENZON, A.S.; DIAS, H.C.T.; LEITE, H.G. Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.619-627, 2013.

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**, v. 40, n. 2, p. 165-174, 2009.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomás**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomás/caatinga>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v.434-435, p.55-68, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>

MORAES, L.A.F. A visão integrada da Ecohidrologia para o manejo sustentável dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, p. 1304-11, 2009.

MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p. 1643-1651, 2006.

MOURA, A. E. 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**, v. 33, p. 461-469, 2009.

NIMER, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil. Subsídios à Geografia Regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1989.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Reviews Ecology System**, v. 4, p. 25-41, 1973.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

Oliveira, F. T. de; Souto, J. S.; Silva, R. P. da; Andrade Filho, F. C. de; Pereira Júnior, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v.5, n.4, p.27-37, 2010. 20 Mar. 2016.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. S.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 723 – 732, 2008.

PEREIRA, P. DE C; SILVA, T. G. DA F., SIQUEIRA, S. M., DA CRUZ NETO, J. F., & DE MORAIS, J. E. F. Avaliação e aplicabilidade do coeficiente do tanque classe “a” no médio pajeú, pernambuco. **Revista Caatinga**, p.131-140, 2014.

PINHEIRO, E. A. R. **Determinação in situ da profundidade efetiva das raízes da caatinga preservada para fins de balanço de água no solo**. 53 f. Monografia (2010) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for

Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, Z. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 3:1-5. 1979.

REYNOLDS JF, SMITH DMS, LAMBIN EF, TURNER BL, MORTIMORE M, BATTERBURY SPJ, DOWNING TE, DOWLATABADI H, FERNANDEZ RJ, HERRICK JE, HUBER-SANNWALD E, JIANG H, LEEMANS R, LYNAM T, MAESTRE FT, AYARZA M, WALKER B. Global desertification: building a science for dryland development. **Science** v.316, p.847–851. 2007.

RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. **Wat. Resour. Res.** 36, 3-9, 2000.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). **R. Bras. Ci. Solo**, 29:297-300, 2005.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. & SIRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.1, n.1, p. 1-152, 2007.

SILVA E. C, NOGUEIRA R. J. M. C, AZEVEDO NETO A. D, BRITO J. Z, CABRAL, E. L (2004) Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia Ser. Bot.** 59: 201-205.

SILVA, A. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, Ê. F. F.; LOPES, P. M. O.; SILVA, A. P. N. Análise Espaço-temporal da Evapotranspiração de Referência sob diferentes regimes de 92 Precipitações em Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 135-142, abr.- jun., 2011.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. & CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 10:579-585, 2006.

SILVA, P. C. G da; GUIMARÃES FILHO, C. Eixo Tecnológico da Ecorregião Nordeste. In: SOUSA, I.S.F.de. (Ed.) **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 434p. Cap3. p.115-116.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.147-157, 2014. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014)

SILVEIRA, A.M., VICTORIA R.L., BALLESTER, M.V., CAMARGO, P.B., MARTINELLI, L.A. & PICCOLO, M.C. 2000. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo da bacia do rio Piracicaba. **Pesq. agropec. bras.** 35(2): 389-399.

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.3-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>

SOUZA, E. S. DE, ANTONINO, A. C. D., JARAMILLO, R. A., MACIEL NETTO, A. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.128–135, 2008.

SOUZA, L.S.B., MOURA, M.S.B., SEDIYAMA, G.C., SILVA, T.G.F. Energy balance and evapotranspiration biophysical control in Caatinga under intense drought conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.627-636, 2015.

SOUZA, R. M., DE SOUZA, E. S., ANTONINO, A. C., & LIMA, J. R. D. S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 19(5), p. 449-455, 2015.

SOUZA, R. M. S. **Dinâmica de energia, água e carbono em área de pastagem no semiárido pernambucano**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE – UAST), Serra Talhada-PE.

TADEU, P. Convivência com a escassez de água na região semiárida do Brasil: Os programas governamentais para construção de cisternas. Rede de estudos de países de língua portuguesa. Pernambuco, 2012. Disponível em: <<http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10087/1/Newsletter%205%20REAPLP.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 201.

TEIXEIRA, A.H. de C.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; MOURA, M.S.B.; BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v.362, p.110-127, 2008. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.08.011.

TEIXEIRA, A.H.C. (2001) Evaluation of Components of Energy Balance in Banana Crop during the First Year. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5, 28-32. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100006>

TROVÃO, D. M. B. M., FERNANDES, P. D., ANDRADE, L.A. & DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 11, p. 307-311, 2007.

TWINE T. E.; KUCHARIK C. J.; FOLEY J. A. Effects of land cover change on the energy and water balance of the mississippi river basin. **Journal of Hydrometeorology**, 5, 640–655, 2004.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v 44, p. 892–898, 1980.

VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e modelagem da interceptação da chuva em uma área florestada na região metropolitana de Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 101-112, 2006.

VIVONI, E.R., RINEHART, A.J., MÉNDEZ-BARROSO, L.A., ARAGÓN, C.A., BISHT, G., CARDENAS,M.B., ENGLE, E., FORMAN, B.A., FRISBEE, M.D., GUTIÉRREZ-JURADO, H.A., HONG, S., MAHMOOD, T.H., TAI, K., WYCKOFF, R.L. Vegetation controls on soil moisture distribution in the Valles Caldera New Mexico, during the North American monsoon. **Ecohydrology**, v 1, p. 225–238, 2008.

WANG, L., D'ODORICO, P., EVANS, J. P., ELDRIDGE, D. J., MCCABE, M. F., CAYLOR, K. K., AND KING, E. G.: Dryland ecohydrology and climate change: critical issues and technical advances, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 16, 2585–2603, doi:10.5194/hess-16-2585-2012, 2012.

WILCOX BP. Transformative ecosystem change and ecohydrology: ushering in a new era for watershed management. **Ecohydrology**, v. 3, p.126–130. 2010.

WILCOX,B. P., LAURA TURNBULL, MICHAEL H. YOUNG, C. JASON WILLIAMS, SUJITH RAVI, MARK S. SEYFRIED, DAVID R. BOWLING, RUSSELL L. SCOTT, MATTHEW J. GERMINO,TODD G. CALDWELL AND JOHN WAINWRIGHT. Invasion of shrublands by exotic grasses: ecohydrological consequences in cold versus warm deserts. **Ecohydrology**, v.5, p.160-173, 2012.

YANG L, WEI W, CHEN LD, CHEN WL, WANG JL. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v 115, p. 123-133, 2014. DOI: 10. 1016/j. catena.2013.12.005.

YANG, J; DING, Y; CHEN, R. NDVI reflection of alpine vegetation changes in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers. **Acta Geographica Sinica**, v 3, p. 1-13, 2005.

APÊNDICE

Tabela A1. Componentes do balanço hídrico em área de Caatinga e pastagem no período de 12 meses (08/2014 – 07/2015) em Serra Talhada – PE

ANO	MÊS	Caatinga					Pastagem				
		ΔA_Z	P	Q_Z	ES	ET_{BAS}	ΔA_Z	P	Q_Z	ES	ET_{BAS}
2014	Ago	-4,09	1,82	5,14	0,00	11,05	-6,75	2,54	8,47	0,00	17,76
	Set	-1,13	0,38	0,89	0,00	2,40	-2,02	1,27	0,47	0,00	3,76
	Out	1,46	19,26	-0,94	0,00	16,86	4,02	20,83	-3,32	2,00	11,49
	Nov	11,78	118,60	-27,01	1,43	78,38	22,65	102,87	-35,10	10,96	34,17
	Dez	-9,33	13,51	16,66	0,00	39,50	-20,74	17,27	6,08	2,81	41,28
2015	Jan	-1,23	27,02	1,45	0,00	29,70	-0,15	23,37	1,05	0,00	24,56
	Fev	1,68	52,36	-2,08	0,00	48,60	7,39	45,22	-9,10	0,00	28,73
	Mar	-7,17	38,71	6,50	0,00	52,38	-6,10	48,01	4,68	0,00	58,79
	Abr	0,46	63,33	-0,10	0,38	62,39	4,73	56,82	-1,43	8,59	42,07
	Mai	-2,54	34,66	3,07	0,00	40,26	-6,30	42,72	6,62	3,66	51,98
	Jun	-0,53	67,40	0,70	0,00	68,63	1,39	73,61	0,06	0,00	72,27
	Jul	2,08	46,83	1,40	0,00	46,15	5,12	50,93	1,76	0,00	47,57
TOTAL		-8,57	483,87	5,68	1,81	496,31	3,24	485,45	-19,76	28,02	434,43

P - Precipitação interna; ES - Escoamento superficial; Q_Z - Fluxo vertical de água no solo; ΔA_Z - Variação do armazenamento de água no solo; ET_{BAS} - Evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico. Todos os componentes são expressos em mm.

Tabela A2. Caracterização morfológica dos perfis de solo da Caatinga e pastagem

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor			Estrutura	Consistência			Transição
		Seco	Úmido	Mosqueado		Seca	Úmida	Molhada	
Área de caatinga: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário									
A	0-10	5YR 5/6	5YR 4/4	-	Fraca, pequena a média, blocos subangulares	Ligeiramente dura a dura	Muito friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
C	out/20	5YR 5/6	5YR 4/6	-	Fraca a moderada, muito pequena a média, blocos subangulares	Ligeiramente dura a dura	Muito friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Irregular e abrupta
R/Cr	20-60	-	-	-	-	-	-	-	-
Área de Pastagem: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico planossólico									
Ap1	0-8	7,5YR 4/3	7,5YR 3/3	-	Fraca, pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
Ap2	ago/15	5YR 4/4	5YR 3/3	-	Fraca a moderada, pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e clara
Bt	15-30	5YR 4/6	5YR 4/4	-	Fraca a moderada, muito pequena a média, blocos subangulares e angulares	Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Ondulada e clara
C/Cr	30-60	-	10YR 5/3	10YR pouco, médio, proeminente	2/1 Fraca, prismática, média a grande	Extremamente dura	Firme a muito firme	Muito plástica e pegajosa	-