



**IMPACTOS NO BALANÇO HÍDRICO DECORRENTES DE MUDANÇAS NO
USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ,
PERNAMBUCO**

THYAGO RODRIGUES DO CARMO BRITO

**GARANHUNS
AGOSTO/2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E
PÓS-GRADUAÇÃO UNIDADE ACADÊMICA DE
GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO
AGRÍCOLA**

**IMPACTOS NO BALANÇO HIDROLÓGICO
DECORRENTES DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ,
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Produção Agrícola da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Agrícola.

**THYAGO RODRIGUES DO
CARMO BRITO**

**Orientador: Dr. José Romualdo de
Sousa Lima**

**GARANHUNS
AGOSTO/2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca **Ariano Suassuna**, Garanhuns - PE, Brasil

B862i Brito, Thyago Rodrigues do Carmo
Impactos no balanço hídrico decorrentes de mudanças
no uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú,
Pernambuco / Thyago Rodrigues do Carmo Brito. - 2017.
f.

Orientador: José Romualdo de Sousa Lima.

Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola)
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós - Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns,
BR - PE, 2017.

Inclui referências

1. Evapotranspiração 2. Caatinga 3. Drenagem 4. Escoamento
I. Lima, José Romualdo de Sousa, orient. II. Título

CDD 631.47

**IMPACTOS NO BALANÇO HIDROLÓGICO DECORRENTES DE
MUDANÇAS NO USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MUNDAÚ, PERNAMBUCO**

THYAGO RODRIGUES DO CARMO BRITO

Data da defesa: 21/08/2017

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dr. José Romualdo de Sousa Lima – (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco/UAG

Dr. Marcelo Metri Corrêa – Examinador Interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco/UAG

Dr. Rodolfo Marcondes Silva Souza – Examinador Externo
Universidade Federal de Pernambuco/INCT

Dedico este trabalho aos meus pais Sabino Alves Brito e Lindaura Rodrigues do Carmo Brito, ao meu orientador José Romualdo de Sousa Lima e a minha esposa Bruna Stefany pelo incentivo, apoio, paciência e compreensão durante todo este período.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao nosso Deus misericordioso pelas dádivas e oportunidades que tem proporcionado em minha vida. Louvado seja nosso senhor Jesus Cristo, digno de toda honra e glória.

A minha esposa e companheira Bruna Stefany Macêdo Neves Brito que sempre me apoiou e incentivou durante todo este período, mesmo nos momentos mais difíceis desta jornada.

Aos meus pais, Sabino Alves Brito e Lindaura Rodrigues do Carmo Brito, que me apoiaram incondicionalmente durante toda minha vida, com muito afeto e responsabilidade.

Ao meu orientador, professor Dr. José Romualdo de Sousa Lima pelo incentivo, compreensão, aprendizado e paciência, assim, colaborando de forma crucial na conclusão deste trabalho.

Aos meus companheiros do grupo de pesquisa, laboratório e do programa: Cidney Barbosa Bezerra, Wendson Moraes, Francis Henrique, Wandson Souza, Euclides Neto, Arnaldo, Paulo Ferreira e Rodolfo Souza que participaram diretamente de forma vital na coleta de dados e execução dos trabalhos deste projeto. Sem eles, nada disso seria possível, deixo aqui minha mais profunda gratidão.

Agradeço também aos professores do programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola da UFRPE - UAG, por todo o aprendizado e vivência acadêmica no decorrer do curso, em especial aos professores Dr. Alexandre Tavares e Dr. Marcelo Metri pelo suporte no trabalho e dirimição de dúvidas.

Aos companheiros de classe Jesimiel, Alexandre, Luciana Herculano, Francisco e Diego pelo convívio, trabalhos e estudos compartilhados no decorrer do programa acadêmico.

Ao pessoal do setor de transportes da UFRPE-UAG, seu Amadeu, Fábio, Álvaro e os demais motoristas que sempre que foi necessário, nos conduziram com segurança e responsabilidade ao campo experimental de São João - PE.

A FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) pela concessão da bolsa de estudo e pesquisa no programa.

A APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) pela concessão da bolsa complementar de apoio técnico no programa.

Agradeço a receptividade da cidade de Garanhuns, em especial, ao amado estado de Pernambuco e a UFRPE-UAG pela estrutura e suporte proporcionado, pelo acolhimento durante esta nova jornada que me proporcionou ter uma nova visão do cotidiano agrícola no sertão, no agreste e zona da mata pernambucana, meu muito obrigado.

Biografia

Thyago Rodrigues do Carmo Brito, filho de Sabino Alves Brito e Lindaura Rodrigues do Carmo Brito, nasceu no município de Grajaú, estado do Maranhão, no dia 08 de setembro de 1988.

No ano de 2006 ingressou no curso Técnico Agrícola da Escola Agrotécnica Federal de Araguatins – TO, concluindo o curso no ano de 2007.

Em 2008, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Tocantins, Campos Universitário de Gurupi, curso este concluído no ano de 2013.

No ano de 2013 iniciou em um curso de especialização da Faculdade de Tecnologia Equipe Darwin, Pós-Graduação (*latu sensu*) em Georreferenciamento e Geoprocessamento, concluído no ano de 2014.

No ano de 2015 ingressou no curso Técnico em Logística da Secretaria de Educação de Pernambuco, Polo de Garanhuns, sendo egresso do curso no ano de 2017.

Em 2015 ingressou na Pós-Graduação em Produção Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns, orientado pelo professor Dr. José Romualdo de Sousa Lima, defendendo a dissertação no dia 21 de agosto de 2017.

Atualmente, é comprador de grãos na Cargill Agrícola S.A, unidade de Paragominas – PA.

Durante o período da Pós-Graduação, participou de congressos, publicou resumos simples e 1 artigo na Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.

Em tudo somos atribulados, porém
não angustiados; perplexos, porém
não desanimados.

(2 Coríntios - 4:8)

RESUMO GERAL

A Caatinga é o único bioma restrito ao território brasileiro, sendo que apesar da grande diversidade de espécies existentes e importância da conservação, é o bioma menos estudado e protegido, devido a pressão antrópica exercida. Sabe-se que, juntamente com as mudanças climáticas globais, as mudanças no uso da terra podem provocar alterações no regime hídrico de várias regiões do mundo. Assim, estudos que determinem os componentes do balanço hídrico, tais como: evapotranspiração, escoamento superficial, interceptação pluvial, drenagem profunda, ascensão capilar são importantes para se prever como as mudanças no uso da terra vão influenciar nesses processos. Para avaliar como as mudanças no uso da terra na região semiárida irão afetar os componentes do balanço hídrico, faz-se necessário a determinação desses componentes em áreas de caatinga e cultivadas (culturas agrícolas) simultaneamente. Logo, este trabalho teve como objetivo investigar o efeito das mudanças decorrentes do uso da terra sobre os componentes do balanço hídrico (evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem e ascensão capilar) em área de caatinga e de pastagem no município de São João, situado na bacia do Rio Mundaú, Agreste Pernambucano. Para obtenção do escoamento superficial (componente do balanço hídrico), foram instaladas calhas coletoras no solo, nas áreas de caatinga e de pastagem. Para medição da umidade volumétrica do solo e do potencial matricial de água no solo foram instalados TDR nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm. Em cada área (pastagem e caatinga) foi instalada uma torre metálica com sensores para medir a precipitação pluvial. Também foram medidos os atributos físicos do solo (porosidade total, densidade do solo e curva de retenção da água no solo), nas áreas de caatinga e de pastagem, bem como a produção de matéria seca da pastagem. A supressão da caatinga pela área de pasto contribuiu para a piora dos atributos físicos de qualidade do solo, como o volume total de poros, menor retenção de água e aumento da densidade de solo causada pelo maior pisoteio. Durante os dois anos do experimento (outubro de 2013 a setembro de 2015), o saldo final de armazenamento de água no pasto (9,23 mm) foi superior ao da caatinga (4,9 mm). A evapotranspiração total na caatinga (1.199,8 mm) foi maior que na pastagem (1.195,5 mm). A evapotranspiração em ambas as áreas foi diretamente proporcional a precipitação, com seus valores mais elevados ocorrendo no período de maio a agosto. A maior produção de biomassa vegetal coincidiu com os meses de maior precipitação. A intensidade de pastejo também influencia a produção de biomassa vegetal.

Palavras-chave: escoamento superficial, evapotranspiração, caatinga, balanço hídrico

ABSTRACT

The Caatinga is the only biome restricted to the Brazilian territory. Despite the great diversity of existing species and importance of conservation, this biome is the least studied and protected due to the anthropic pressure exerted. It is known that, together with global climate change, changes in land use can interfere in the water regime of various regions of the world. Thus, studies that determine the components of the hydrological cycle, such as: evapotranspiration, surface runoff, rainfall interception, deep drainage, capillarity ascension, among others are of paramount importance to predict how changes in land use will influence these processes. In order to evaluate changes in land use in the hydrological cycle, it is necessary to determine them in caatinga and cultivated areas (with pastures and/or agricultural crops) simultaneously. The objective of this work is to investigate the effect of changes in land use on the components of the hydrological cycle (evapotranspiration, surface runoff, drainage and capillarity ascension) in caatinga and pasture areas cultivated in São João, located in the Mundaú River watershed in Pernambuco's Agreste. To obtain the data, collecting gutters shall be installed in the ground, in the caatinga and pasture areas, for the measurement of surface runoff. To measure soil volumetric moisture and soil matrix potential, sensors will be installed at depths of 10, 20, 30, 40, 50 and 60 cm. In the center of each area (pasture and caatinga) will be installed a metal tower with sensors to measure rainfall (Hydrological Services). The suppression of the caatinga by the pasture area contributed directly to the reduction of soil physical quality attributes, such as total pore volume, lower water retention, and increased soil density caused by trampling of animals due to compaction. During the two years of the experiment (October 2013 to September 2015), the final water storage balance in the pasture (9.23 mm) was higher than in the caatinga (4.9 mm). Total evapotranspiration in the caatinga (1,199.8 mm) was higher than in the pasture (1,195.5 mm). Evapotranspiration in both areas was directly proportional to rainfall, with its highest values occurring in the period from May to August. The highest production of plant biomass coincided with the months of higher rainfall indexes. The intensity of grazing also influences the production of vegetal biomass.

Key-words: Superficial runoff, evapotranspiration, caatinga, hydrological balance.

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 – Localização da área de estudo (Pastagem e Caatinga) em São João – PE.	22
Figura 2 – Torre meteorológica equipada com sensores eletrônicos para registro de variáveis climáticas na área pastagem da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.	25
Figura 3 – Torre meteorológica equipada com sensores eletrônicos para registro de variáveis climáticas na área de caatinga da fazenda Riacho do papagaio, município de São João – PE.	26
Figura 4 – Sensor eletrônico (HMP45C Vaisala) para registro da temperatura e umidade relativa do ar na torra meteorológica da área de pastagem da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João – PE.	26
Figura 5 – Medidores de umidade do solo instalados a cada 0,1 m de profundidade no solo na fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.	27
Figura 6 – Painel do sistema de aquisição de dados (CR 1000 model Campbell Scientific Inc., USA) instalado na área de pastagem.	28
Figura 7 – Calha coletora para medição do escoamento superficial.	30
Figura 8 – Quadrado utilizado para a coleta da biomassa vegetal aérea da pastagem nos trabalhos de campo.	31
Figura 9 – Leitor de área foliar digital, modelo AM300 (ADC Bio Scientific Limited) utilizado nas amostras de pastagem.	32
Figura 10 – Difratograma de Raio – X da fração argila em um Neossolo Regolítico da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João – PE.	33
Figura 11 – Precipitação pluvial mensal entre outubro de 2013 e junho de 2016 em São João – PE.	34
Figura 12 – Precipitação pluvial e armazenamento de água no solo (0-50 cm) no período de 01/10/2013 a 30/09/2015 em área de caatinga e pastagem em São João – PE.	35
Figura 13 – Curvas de retenção da água nas camadas 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm e 40-50 cm de solo em área de caatinga e pastagem em São João – PE.	37
Figura 14 - Variação do armazenamento de água no solo da caatinga e da pastagem durante o período de outubro de 2013 a setembro de 2015 em São João – PE.	41
Figura 15 - Precipitação e evapotranspiração na área de caatinga e pasto durante o período de outubro de 2013 a setembro de 2015 em São João – PE	42
Figura 16 - Biomassa aérea verde e seca da pastagem localizada na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, no período de maio de 2015 a junho de 2016	45
Figura 17 - Biomassa morta fresca, morta seca e biomassa seca da raiz da pastagem localizada na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, no período de maio de 2015 a junho de 2016.	46
Figura 18 - Índice de área foliar de pastagem e altura do pasto durante o período de maio de 2015 a junho de 2016 em São João – PE.	47
Figura 19 - Área de pastagem extensiva da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João – PE durante o mês de dezembro de 2015.	48

Lista de Tabelas

	Pág.
Tabela 1 – Granulometria da área experimental na fazenda Riacho do Papagaio, São João – PE	23
Tabela 2 – Análise química do Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem em São João – PE	24
Tabela 3 – Densidade do solo, porosidade total e parâmetros de ajuste da curva de retenção da água pelo modelo de van Genuchten em diferentes camadas de um Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem no município de São João – PE.	39
Tabela 4 – Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em diferentes camadas de um Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem no município de São João – PE.	40
Tabela 5 – Eventos de escoamento superficial entre março e junho de 2016 em área de caatinga e pastagem em São João – PE.	44

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Aspectos gerais do bioma Caatinga	17
2.2 Mudanças de uso do solo (caatinga e pastagem)	17
2.3 Balanço Hídrico.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1. Caracterização da área de estudo	22
3.2. Clima e solo da área experimental	22
3.3. Análises Mineralógicas	24
3.4. Instrumentação utilizada.....	25
3.5. Balanço Hídrico.....	27
3.6. Determinação da biomassa vegetal e do índice de área foliar	30
4. RESULTADOS	33
4.1. Atributos mineralógicos	33
4.2. Precipitação pluvial mensal	34
4.3. Armazenamento de água no solo e curva de retenção da água no solo	35
4.4. Componentes do balanço hídrico.....	41
4.5. Medidas de biomassa.....	44
4.6. Índice de área foliar e altura de pasto	47
5. CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O movimento da água no solo está diretamente associado à produção vegetal; conhecê-lo, portanto, é de fundamental importância para qualquer tomada de decisão sobre o uso agrícola dos solos. Por isso, a melhor caracterização das variáveis que interferem na sua dinâmica é imprescindível, tendo em vista que o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera engloba processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, dos quais podem ser mensurados ou estimados pelo método do balanço hídrico (Lima, 2006).

O estado de Pernambuco é contemplado pelo bioma caatinga nas porções geográficas que compreendem o Agreste (planalto da Borborema) e a depressão sertaneja do semiárido (sertão). No entanto, com raras exceções em ambos os casos (agreste e sertão), existem resquícios de mata atlântica em algum dos pontos mais altos destas localidades, denominadas matas de brejo ou brejos de altitudes, que possuem uma fitofisionomia totalmente distinta da vegetação da Caatinga.

O município de São João, situado no Agreste Meridional de Pernambuco e pertencente a parte bacia hidrográfica do rio Mundaú, se caracteriza basicamente pela predominância de pequenas propriedades rurais, sobretudo de agricultura familiar que tem suas atividades baseadas no cultivo de feijão e de mandioca. Entretanto, nas maiores propriedades, a bovinocultura é a principal atividade desenvolvida através de pastagens plantadas (Oliveira et al., 2011), sobretudo pecuária extensiva. Logo, o Agreste Meridional Pernambucano é conhecido como a bacia leiteira do estado, participando significativamente com a economia da região (BRASIL, 2011).

Dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração é um dos mais importantes, uma vez que representa a saída de água por meio dos processos de evaporação do solo e transpiração vegetal. De acordo com Barreto et al. (2009) em algumas regiões, a quantidade de água evapotranspirada de uma bacia hidrográfica representa parcela superior à água que escoam superficialmente.

As mudanças climáticas têm potencial de alterar os processos do ciclo hidrológico, tais como precipitação pluvial que afeta o escoamento superficial, temperatura e umidade relativa e que possuem estreita relação com evaporação e vazão em corpos hídricos e evapotranspiração das plantas (Gondim et al., 2011).

É pouco sabido a capacidade da caatinga em interceptar os impactos da precipitação pluvial e conseqüentemente o escoamento superficial (Freitas et al., 2008). Contudo, a ausência total ou parcial de uma vegetação sobre o solo contribui

significativamente para as perdas de solo e, conseqüentemente, desestabilização dos seus agregados como um todo.

Sabe-se que, juntamente com as mudanças climáticas globais, as mudanças no uso da terra podem provocar alterações no regime hídrico de várias regiões do mundo. Assim, estudos que determinem os componentes do ciclo hidrológico são de suma importância para se prever como as mudanças no uso da terra vão influenciar nesses processos. Além disso, esses estudos podem ser usados para decisões futuras de mitigação de mudanças climáticas.

Desse modo, com este trabalho, objetivou-se determinar os efeitos das mudanças decorrentes do uso da terra sobre os componentes do ciclo hidrológico (evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem e ascensão capilar) em áreas de caatinga e de pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Mundaú no Agreste de Pernambuco. Os objetivos específicos foram:

1. Examinar, quantificar e comparar a variação sazonal e interanual de evapotranspiração entre a caatinga e pastagem;
2. Examinar, quantificar e comparar a variação sazonal e interanual do escoamento superficial entre a caatinga e a pastagem;
3. Examinar, quantificar e comparar a variação sazonal e interanual do armazenamento de água no solo entre a caatinga e a pastagem.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos gerais do bioma Caatinga

A caatinga é o único bioma restrito ao território brasileiro e o estudo e a conservação da diversidade biológica dessa vegetação são um dos maiores desafios da ciência brasileira, pois, é proporcionalmente a menos estudada entre as regiões naturais brasileiras e é a menos protegida, com menos de 2% de seu território composto por unidades de conservação, além de ainda estar passando por processos de modificação causada pela ação antrópica (Leal et al., 2005).

O nome caatinga provém do tronco linguístico indígena Tupi-Guarani e significa “mata branca”. Isto se deve ao aspecto branco ou acinzentado que as plantas adquirem na estação seca (Albuquerque e Bandeira, 1995), pois são caducifólias. Logo, as plantas nativas deste bioma são altamente adaptadas as condições adversas do semiárido nordestino. Porém, basta uma chuva para que o verde volte a brotar no horizonte na caatinga.

Segundo Prado (1991), na caatinga já foram encontradas mais de 45 famílias, 199 gêneros e 437 espécies de plantas endêmicas. No entanto, a taxonomia vegetal vem evoluindo substancialmente na região, certamente, contribuindo assim para a classificação e aparecimento de novas espécies nestes últimos anos de pesquisa botânica (Leal et al., 2003).

2.2 Mudanças de uso do solo (caatinga e pastagem)

Nas áreas de caatinga a degradação dos recursos naturais tem sido provocada pelo aumento da intensidade de uso do solo e redução da cobertura vegetal nativa (Menezes & Sampaio, 2002). A retirada da caatinga, comumente é realizada para a implantação de pastos e culturas agrícolas, o que, juntamente com a elevada variabilidade climática, pode provocar degradação do solo, contribuindo para o aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera.

No Brasil, de acordo com o último Censo Agropecuário Brasileiro (IBGE, 2006) existe cerca de 172,3 milhões de hectares pastagens (plantadas e naturais). No Nordeste, as áreas ocupadas por pastos correspondem a 32,65 milhões de hectares. O estado de Pernambuco possui 2,5 milhões de hectares de pastagens. Neste contexto estadual, o

Agreste pernambucano representa 40% do total (1,06 milhões de hectares).

Dias-Filho (2011) estima que entre 50% e 70% das pastagens brasileiras apresentam algum grau de degradação, grande parte devido ao manejo inadequado empregado na pecuária extensiva.

Outro ponto importantíssimo que a supressão da caatinga vem gerando é a intensificação do processo de desertificação (Souza et al., 2015). Estima-se que 1.338.076 km² estão sujeitas a este processo (Brasil, 2004), com predomínio das atividades antrópicas para este dado alarmante. Uma vez a desertificação instalada neste local, o processo é praticamente irreversível, podendo apenas como medida paliativa, sua expansão ser contida.

As matas ciliares possuem papel fundamental nos cursos d'água, seja ele intermitente ou temporário, uma vez que reduzem significativamente o açoreamento em seu entorno e representam um papel ecológico fundamental tanto na fauna quanto na flora. Atualmente, a maior parte da vegetação nas margens de rio deste bioma se encontram descaracterizadas em fisionomia e composição, sobretudo, devido a intervenções antrópicas nestes locais (Araújo, 2009).

Portanto, a preservação das matas ciliares, manutenção de nascentes preservando a cobertura vegetal existente e exploração do solo de forma correta, significa proteger e conservar os recursos hídricos (Soares et al., 2013).

2.3 Balanço Hídrico

Os diversos processos que englobam fluxo de água (evapotranspiração, infiltração, absorção pelas plantas, evaporação, redistribuição) são independentes, sendo que, na maioria das vezes, ocorrem de forma simultânea. O balanço hídrico é fundamental quando pretende-se estudar o ciclo da água em uma determinada cultura de maneira geral. O balanço hídrico é caracterizado pelo somatório da quantidade de água que entram e saem de um determinado volume de solo, considerando um certo intervalo de tempo, resultando na quantidade líquida de água que se mantém nele (Reichardt, 1996).

Para efetuar o balanço hídrico de um solo cultivado, faz-se necessário contabilizar a entrada de água no solo, seja ela por irrigação ou precipitação pluviométrica, partindo do princípio da sua infiltração na superfície do solo. A saída de água no sistema é representada pela drenagem interna da água abaixo da zona absorção das raízes, evapotranspiração e escoamento superficial do solo num determinado volume de tempo de um solo. Se a quantidade de água que entra no sistema em um determinado período

de tempo for maior que a quantidade que sai no mesmo período, o saldo será positivo, caso o inverso ocorra, o saldo será negativo (Lima et al., 2014). As medições de saldo positivo e negativo consistem na variação de armazenagem de água no perfil do solo em determinado período observado (Libardi, 1995).

Dos componentes do balanço hídrico, o escoamento superficial consiste na etapa em que o excedente de água de uma chuva intensa se desloca sobre a superfície do solo (Pruski et al., 2003), pois a velocidade de infiltração e armazenamento no solo é menor que a precipitação pluvial, contribuindo assim para a erosão dos solos. O principal fator que contribui para a erosão dos solos é a associação de precipitação intensa com a característica física susceptível do solo (Santos et al., 2010), ocasionando o chamado escoamento superficial (Pruski et al., 2001). Soma-se isto a ausência ou presença (tipo) de vegetação existente na área e uma topografia declivosa favorável ao escoamento.

Como consequência do escoamento superficial, temos a deposição de solo e sedimentos nas cotas mais baixa de um dado relevo, devido ao transporte na enxurrada que, segundo Volk (2006), ocorre por conta da carga de sedimentos na enxurrada ser maior do que a capacidade de transporte. Geralmente, este excedente de solo e sedimentos vão parar em cursos d'água ou baixadas, contribuindo assim para o assoreamento e elevado grau de degradação ambiental.

O escoamento superficial e a infiltração sob uma intensidade constante de chuva são considerados processos antagônicos pois, ao passo em que a infiltração diminui aumenta-se o escoamento até que se atinja determinado equilíbrio dinâmico (Spohr et al., 2009).

A precipitação efetiva, como o próprio nome sugere, consiste na quantidade de água precipitada que não é interceptada pelo dossel da vegetação e incide diretamente sobre o solo, somando-se a quantidade que é escoada pelo tronco das árvores (Cabanêz et al., 2011).

Predominantemente, a maioria dos estudos sobre interceptação pluvial e precipitação efetiva realizados se deram no Bioma Amazônico (Cuartas et al., 2007; Borges et al., 2012) e na mata atlântica (Moura, 2009; Ávila, 2014). No entanto, alguns trabalhos no Bioma Caatinga também já foram desenvolvidos no intuito de quantificar estas variáveis (Souza, 2014, Cavalcante, 2016, Silva, 2017).

O armazenamento de água no solo é vital para que os todos os processos biogeoquímicos ocorram normalmente. Contudo, o aumento na retenção de água no solo não garante que haverá uma maior disponibilidade hídrica para as plantas, tendo em vista que tal disponibilidade está ligada aos limites de capacidade de campo e ponto de

murcha permanente que são diretamente afetados pelo manejo empregado no solo (Dalmago et al. 2009).

Ademais, o manejo inadequado impacta a relação massa/volume do solo. Logo, compromete a entrada de água no perfil e, conseqüente, afeta a sua distribuição e retenção devido as alterações provocadas na porosidade total do solo, sobretudo, no tamanho e distribuição dos poros (Alves, 2001). Os solos também apresentam comportamentos distintos no que tange a dinâmica e ao armazenamento de água conforme sua origem pedogenética (González e Alves, 2005).

A água no solo evapora constantemente, porém, a quantidade evaporada depende de diversos fatores como a temperatura, pressão atmosférica, umidade do ar e taxa de radiação solar disponível para transformar a água líquida em vapor. As plantas também retiram água do solo através de suas raízes e elimina como vapor d'água na atmosfera através dos estômatos presentes em suas folhas. A soma desses dois processos é o que chamamos de evapotranspiração.

A estimativa da evapotranspiração é um processo crucial para compreender o balanço hídrico e demais aplicações no planejamento e gestão da água (Bezerra, 2014). Portanto, sendo ela um dos principais componentes do ciclo hidrológico, é imprescindível conhecê-la para a pesquisa e modelagem, sobretudo, no manejo da produção agrícola irrigada, bem como no gerenciamento de recursos hídricos (Back 2008; Alencar et al., 2011).

O fluxo de água no solo é um importante fator que compõe a evapotranspiração. Tal fluxo consiste na ascensão capilar que é quando a água tende a subir ocupando os poros do interior do solo em direção as camadas superiores devido a uma diferença de pressão interna e externa da superfície até que se estabeleça um equilíbrio. A capilaridade tende a ocorrer nos solos mais argilosos se comparados aos arenosos.

Já a drenagem segue o fluxo inverso, é o movimento de água da superfície para as camadas subterrâneas e mais profundas, podendo infiltrar até o lençol freático. A principal força física que atua sobre a drenagem é a gravidade. A força de percolação (infiltração) é uma unidade parecida com o peso específico e que atua da mesma forma que o gravitacional. Quando seguem o mesmo sentido (Fluxo de água para baixo), elas se somam, do contrário, se subtrai.

Portanto, quando as taxas de evaporação são baixas, a presença de um gradiente de potencial por conta da imediação da lâmina de água armazenada e a condutividade hidráulica do solo é capaz de manter superfície úmida, sendo a evaporação limitada por causas meteorológicas. No entanto, se por ventura as taxas de evaporação são demasiadas, a taxa de evaporação será superior à velocidade de ascensão capilar da

água, influenciando assim a taxa de evaporação (González e Alves, 2005).

Por fim, Li et al, (2007) afirma que a retirada da vegetação e as mudanças climáticas podem impactar a hidrologia da terra por um longo período, sobretudo, desequilibrando o regime de chuvas, o escoamento e a evapotranspiração. Daí a importância da investigação científica sobre temas tão importantes quanto estes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em áreas de caatinga e de pastagem localizada na Fazenda Riacho do Papagaio ($8^{\circ} 48' 33''$ S, $36^{\circ} 24' 24''$ O), com altitude média de 705 m), no município de São João, na mesorregião do Agreste meridional do estado de Pernambuco (Figura 1).

Figura 1. Localização ($8^{\circ} 48' 33''$ S, $36^{\circ} 24' 24''$ O) da área de estudo (Pastagem e Caatinga) em São João – PE.



Fonte: Google Earth

3.2. Clima e solo da área experimental

De acordo com dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2013) a precipitação média anual do município de São João é de 782 mm, sendo o quadrimestre mais chuvoso constituído dos meses de maio a agosto. Santos et al. (2012) classificaram o solo da área experimental como Neossolo Regolítico eutrófico típico, sendo sua profundidade maior que 150 cm e saprolito (horizonte de transição entre solo e rocha) apontando a partir do 117 cm.

O período de monitoramento dos dados meteorológicos se deu entre os meses de outubro de 2013 a junho de 2016. A área de pasto possui um histórico de mais de três décadas de abertura e exploração da pecuária bovina como principal atividade. Atualmente, a área é ocupada com pasto de *Brachiária decumbens* que, nos últimos quatro anos, apresenta estágio considerável de degradação. Já a área de caatinga segue relativamente preservada durante décadas (mais de 50 anos), sem resquícios severos de exploração antrópica neste ponto. Contudo, por não haver cercas delimitando ambas as áreas, nota-se trilhas feitas pelos bovinos na área de caatinga. O que é normal, uma vez que os animais procuram áreas sombreadas nas horas mais quentes do dia.

Nas duas áreas (caatinga e pastagem) foram coletadas amostras deformadas com o auxílio de um trado, nas camadas de 0-20 cm e > 60 cm. Em cada área foram coletadas quatro amostras deformadas que, posteriormente foram homogeneizadas para a obtenção de uma amostra composta. Em seguida, foram determinadas a granulometria, de acordo com metodologias contidas em Donagema et al. (2011). Os resultados da caracterização física do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria da área experimental na fazenda Riacho do Papagaio em São João – PE

Vegetação	Profundidade (cm)	Granulometria (%)		
		Areia	Silte	Argila
Caatinga	0-20	86,4	9,6	4
Caatinga	60-80	81,1	14,9	4
Pastagem	0-20	83,1	12,9	4
Pastagem	60-80	79,8	16,2	4

Fonte: Dados da pesquisa

Ainda conforme Santos et al. (2012), este Neossolo Regolítico eutrófico típico acusou uma sequência de horizontes A-AC-C1-C2 e Cr. O horizonte superficial é do tipo A moderado com textura arenosa, estrutura caracterizada como fraca pequena a média com forma em blocos sub angulares e possuindo grãos simples.

Nas mesmas amostras deformadas, na camada de 0-20 cm, foram determinados o pH em água e os teores de Na, K, Ca, Al, H+Al e P, de acordo com Donagema et al. (2011), cujos resultados se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem em São João – PE

Área	pH	Na	K	Al	Ca	P mg.kg ⁻¹	H+Al Cmol dm ⁻³
-----cmol _c dm ⁻³ -----							
Pastagem	6,2	0,15	0,09	0,05	0,428	0,09	1,49
Caatinga	5,1	0,15	0,15	0,1	0,121	2,57	3,47

Fonte: Dados da pesquisa

3.3. Análises Mineralógicas

No laboratório de cristalquímica e micromorfologia do solo, localizado no CENLAG (Central de Laboratórios de Garanhuns) da UFRPE-UAG foram processadas as amostras de solo para caracterização e análise mineralógica da fração argila. A TFSA (Terra fina seca ao ar) se fez necessária para posterior separação da argila das demais partículas do solo (areia, silte e matéria orgânica).

A argila foi separada das demais frações do solo usando o princípio da lei de Stokes. Com o auxílio de uma mangueira, foi feita a sucção da camada superficial de uma proveta com as amostras de solo. Devido a fração areia e a fração silte ser maior e possuir mais peso, estas decantam mais rapidamente que a fração argila, daí a maior facilidade em retirar a argila que permanece suspensa. Tanto para a camada de 0 – 20 cm, quanto para a camada > que 60 cm de profundidade.

Contudo, isto se deu após as amostras de argilas terem sido submetidas aos pré-tratamentos de eliminação de óxidos de ferro e com Mg-glicol, conforme métodos propostos por Jackson (1975).

O modelo de difratômetro utilizado para analisar as amostras por difratometria de raio X (DRX) foi o XRD 6100, da fabricante Shimadzu. Foi operado com radiação de Cobre (Cu) K α a 40 kV e 30 mA, com monocromador de grafite. A velocidade utilizada no difratômetro foi de 2°2 θ min⁻¹ em uma amplitude de 3 a 35° (2 θ).

Como procedimento, macerou-se as amostras de argila em um almofariz de ágata onde, posteriormente, foram passadas em uma peneira de 0,005 mm. As argilas foram dispostas como agregados não orientados sobre o porta-amostra.

As diretrizes utilizadas para a interpretação dos difratogramas e conseguinte, a identificação dos minerais formadores da fração argila foram propostas por Jackson (1975). Ela consiste no comportamento dos picos de difração característico que cada

mineral possui. Funciona como uma “impressão digital” específica do mineral e se baseia no espaçamento interplanar.

3.4. Instrumentação utilizada

No centro de cada área (pastagem e caatinga) foi instalada uma torre metálica (Figuras 2 e 3) onde alocou-se sensores eletrônicos automáticos de baixa frequência, objetivando medir a precipitação pluvial (TB4, Hydrological Services), a temperatura e a umidade relativa do ar (HMP45C, Vaisala na Figura 4).

Os dados desses sensores serão lidos a cada minuto e seus valores médios e totais a cada 30 minutos serão armazenados em um cartão de memória inserido numa central de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific).

Figura 2. Torre meteorológica equipada com sensores eletrônicos para registro de variáveis climáticas na área de pastagem da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.



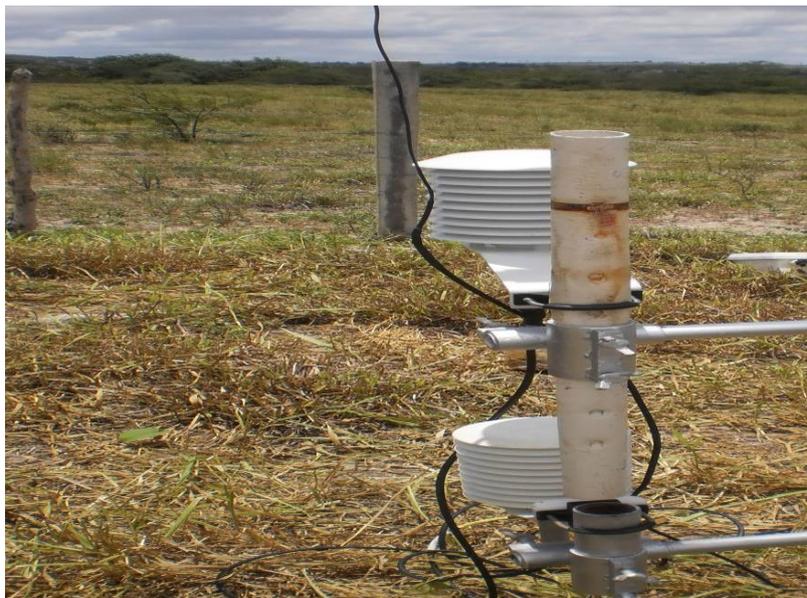
Fonte: O autor (2017)

Figura 3. Torre meteorológica equipada com sensores eletrônicos para registro de variáveis climáticas na área de caatinga da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.



Fonte: O autor (2017)

Figura 4. Sensor eletrônico (HMP45C Vaisala) para registro da temperatura e umidade relativa do ar na torre meteorológica da área de pastagem da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.



Fonte: O autor (2017)

3.5. Balanço Hídrico

O balanço hídrico em determinado volume de solo, num certo período de tempo (Silva et al., 2014), é descrito pela equação (1):

$$\Delta A = P + I + AC - D \pm R - E \quad (1)$$

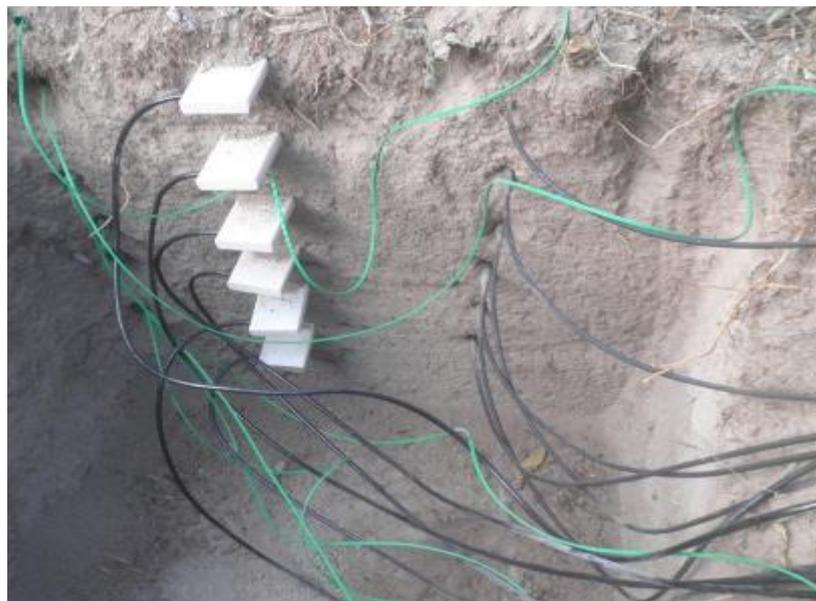
Em que: ΔA é a variação de armazenamento de água no perfil de solo; P é a precipitação pluvial efetiva; I é a irrigação; AC é a ascensão capilar; D é a drenagem profunda e R é o escoamento superficial. Todos os termos dessa equação estão em mm.

O termo irrigação (I) foi considerado nulo, pois o trabalho foi realizado em condições de sequeiro.

A precipitação efetiva (P) foi obtida pela precipitação pluvial total, monitorada por meio de um pluviógrafo automatizado instalado na torre no centro da área. Todos os termos dessa equação estão em mm.

Para medição da variação no armazenamento de água no solo, foi usada a metodologia do balanço hídrico no solo, sendo que foram instalados sensores automatizados do tipo TDR (CS 616 model da fabricante Campbell Scientific Inc., USA) para medição da umidade volumétrica do solo (θ , m³ m⁻³) e do potencial matricial da água no solo nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 de acordo com a Figura 5.

Figura 5. Medidores de umidade do solo instalados a cada 0,1 m de profundidade no solo na fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE.



As leituras de cada sensor foram realizadas a cada minuto com o valor de cada trinta minutos armazenado em um cartão de memória inserido num sistema de aquisição de dados (CR 1000 model, Campbell Scientific Inc., USA) conforme a Figura 6.

Figura 6. Painel do sistema de aquisição de dados (CR 1000 model Campbell Scientific Inc., USA) instalado na área de pastagem.



Fonte: O autor (2017)

O armazenamento acumulado de água no solo foi calculado pela regra do trapézio (Libardi, 2005), considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L = 0,50$ m). A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água do perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = [\theta_{(f)} - \theta_{(i)}]L = A_f - A_i \quad (2)$$

sendo A_f e A_i os armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

As perdas ou os ganhos em água através da base do perfil de solo estudado, drenagem profunda (D) ou ascensão capilar (AC), respectivamente, foram estimadas com base na equação de Darcy – Buckingham:

$$q = -K(\theta)\nabla\phi_t T \quad (3)$$

sendo q o fluxo de água na base do perfil de solo; $K(\theta)$ a condutividade hidráulica não saturada e $\nabla\phi$ o gradiente de potencial total e T o tempo.

Vale citar que o $K(\theta)$ foi obtido através dos trabalhos de Alves (2015) que desenvolveu pesquisa nesta mesma área de estudo (caatinga e pastagem) na fazenda Riacho do Papagaio.

Os dados experimentais das curvas de retenção da água no solo foram obtidos por meio dos pares dos valores de umidade volumétrica do solo e de potencial matricial do solo. Os ajustes aplicados foram realizados por intermédio da equação proposta por van Genuchten (1980).

Coletaram-se 5 amostras indeformadas nas camadas de 0 – 10 cm; 10 – 20 cm; 20 – 30 cm; 30 – 40 cm e 40 – 50 cm, sendo 3 repetições em cada área (15 amostras na caatinga e 15 amostras no pasto), totalizando 30 amostras em anéis com dimensões de 5 cm e 5 cm (respectivamente, altura e diâmetro). Após a coleta, alocou-se as amostras saturadas em uma placa de cerâmica do extrator de Richards e submeteu-as as determinadas pressões (0,01; 0,033; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1 ou 1,5 MPa) visando atingir a drenagem máxima de água contida nos poros. Uma vez que aplica-se o potencial até a drenagem próxima, referente a tensão aplicada, quantifica-se dessa forma a umidade das amostras (EMBRAPA, 2011).

As medidas sistemáticas de infiltração (infiltrômetro de anel simples) foram usadas de Alves (2015) que faz parte do nosso grupo de pesquisa e desenvolveu trabalhos nesta mesma área. A metodologia utilizada neste caso foi a de Beerkan, em que consiste em ensaios simples de infiltração que visam representar matematicamente o evento da infiltração nas propriedades dinêmicas e estáticas do solo.

Por fim, foram instaladas 4 calhas coletoras, sendo as calhas 1 e 2 na área de pasto e as calhas 3 e 4 na área de caatinga. O período de observação se deu entre 27/12/2015 até 30/06/2016.

Para a medição do escoamento superficial (R) foram utilizadas calhas coletoras (Figura 7) conforme o modelo abaixo e de acordo com a metodologia descrita em Souza (2014).

Figura 7. Calha coletora para medição do escoamento superficial.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

As calhas possuem as dimensões de 1,08 m² (0,95 m lados retos e 1,05 m lado curvo) para a coleta da água escoada superficialmente. O material utilizado para a confecção da lateral das calhas foi uma chapa metálica que ajudou a conduzir a água escoada superficialmente para dentro de um balde com volume de 0,02 m³ (0,295 m de altura e 0,295 m de área) fechado, visando evitar a evaporação da água coletada nos eventos chuvosos.

$$h = \frac{V_{AB}}{A_{\text{Calha}}} \quad (4)$$

Sendo h a lâmina escoada; V_{AB} o volume de água do balde; A Calha é área de captação de água da calha.

3.6. Determinação da biomassa vegetal e do índice de área foliar

Foi determinado em campo o acúmulo de biomassa aérea, bem como o índice de área foliar da pastagem. Para estimar a produção de fitomassa da pastagem, coletou-se as amostras utilizando um quadrado de PVC de 0,25 m² de área (0,50 x 0,50 m), lançado aleatoriamente em pontos distribuídos na área com cinco repetições, sendo duas vezes ao mês. A Figura 8 abaixo representa o quadro para a coleta de forragem em campo.

Figura 8. Quadrado utilizado para a coleta da biomassa vegetal aérea da pastagem nos trabalhos de campo.



Fonte: O autor (2017)

Após o lançamento aleatório, a forragem que se encontrava dentro da área do quadrado foi cortada rente ao nível do solo. As amostras eram acondicionadas em sacos de papel. Posteriormente, as amostras eram levadas ao laboratório de Solos e Geologia da UFRPE/UAG para pesagem da matéria verde. Depois da determinação da matéria verde, separou-se as lâminas foliares dos colmos de cada amostra para a leitura da área foliar utilizando um leitor digital do modelo AM300 (ADC Bio Scientific Limited) conforme a Figura 9. Obteve-se o índice de área foliar (IAF) através da divisão da área foliar pela área do quadrado.

Figura 9. Leitor de área foliar digital, modelo AM300 (ADC Bio Scientific Limited) utilizado nas amostras de pastagem.



Fonte: O autor (2017)

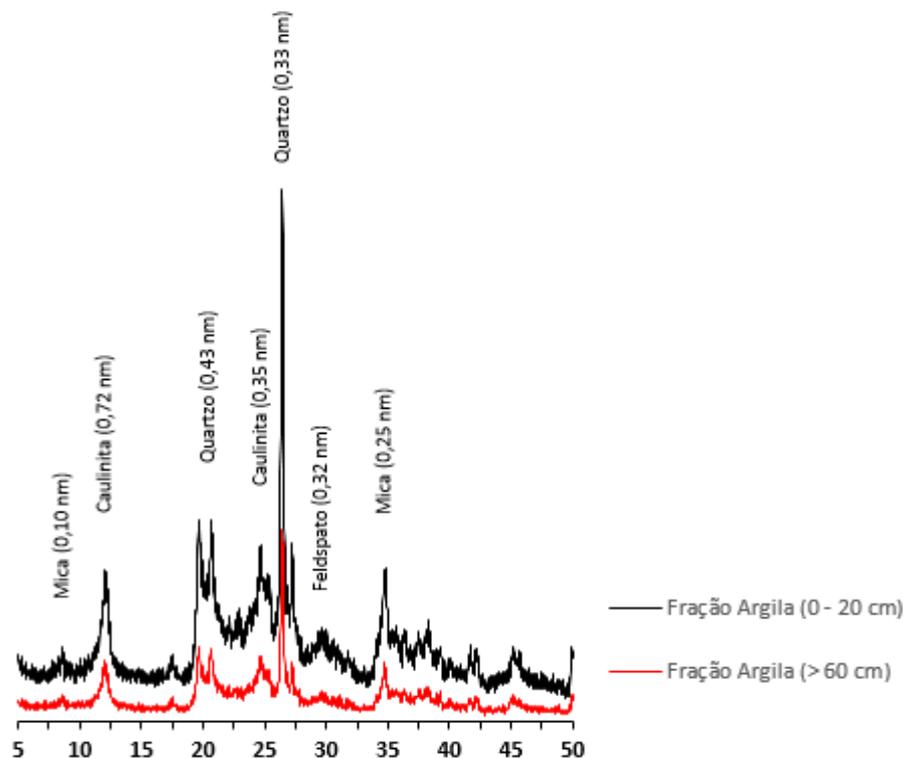
Em seguida, as amostras foram alocadas em uma estufa com circulação de ar durante 72 horas em uma temperatura de 65°C. Após a retirada do material da estufa, pesou-se novamente para quantificar a biomassa seca das amostras coletadas a campo.

4. RESULTADOS

4.1. Atributos mineralógicos

Os difratogramas de raio X da fração argila do Neossolo Regolítico da área de estudo vem retratado na figura 10.

Figura 10. Difratograma de Raio – X da fração argila em um Neossolo Regolítico da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Os resultados observados corroboram com os encontrados por Firmino (2016), que observou nos constituintes da fração argila de um Neossolo Regolítico a presença dominante da caulinita, seguida dos minerais illita, feldspatos e quartzo noutra área do município de São João – PE.

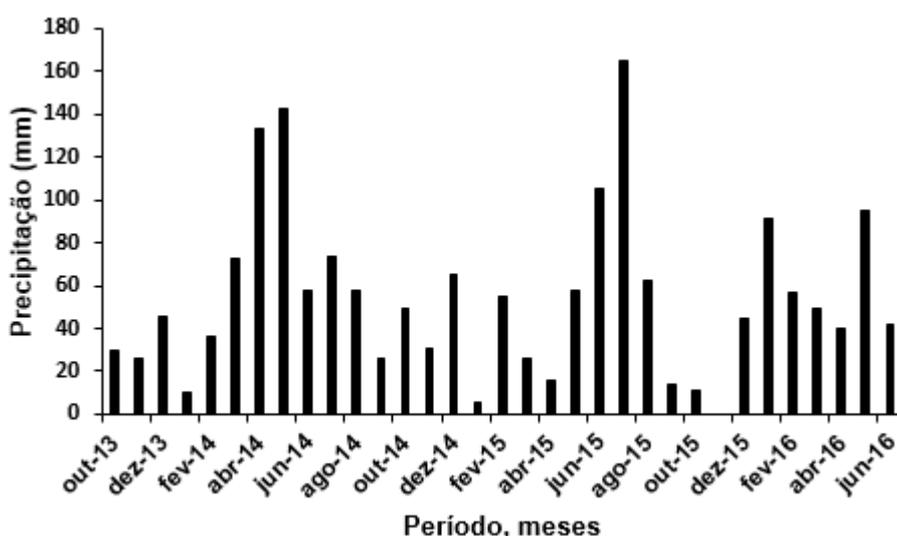
A formação da caulinita é consequência da alta expressividade do processo de monossilicização na área estudada, que consiste na perda de potássio e silício estrutural do feldspato por lixiviação, devido a ação acentuada das chuvas sazonais e facilidade de drenagem que esta classe de solo possui por conta do alto teor de areia e macroporosidade demasiada (Santos, 2012).

Apesar de argila ter sido tratada com Mg (dados não apresentados), o mesmo não diferenciou da argila natural em virtude do ambiente altamente lixiviante proporcionado pela textura do solo essencialmente arenoso, sugerindo a ausência de minerais de alta atividade do grupo 2:1.

4.2. Precipitação pluvial mensal

A distribuição da precipitação pluvial entre outubro de 2013 e junho de 2016 é apresentada na figura 11.

Figura 11. Precipitação pluvial mensal entre outubro de 2013 e junho de 2016 em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa e APAC, 2016

O total acumulado durante o período foi de 1.794 mm. Nos três meses avaliados de 2013, choveu o total de 102 milímetros. O ano de 2014 precipitou um total de 753 mm. Enquanto isso, no ano de 2015 houve um volume total acumulado em apenas 564 mm e por último, nos seis primeiros meses de 2016 registrou-se um total de 374 mm.

Se considerarmos apenas o período de coleta e avaliação das forragens, o total acumulado foi de 835 milímetros. Este valor corrobora com a normal climatológica para este período em São João – PE que é de 782 mm anuais, sendo os meses de maio, junho e julho os de maior incidência de precipitação.

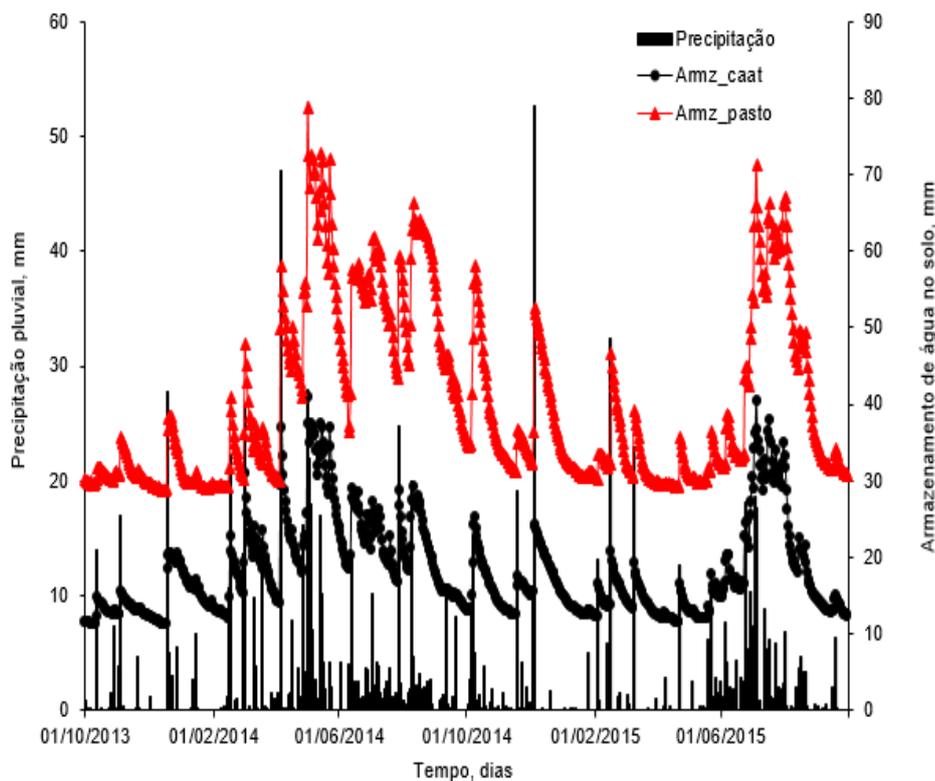
Os meses de setembro, outubro e novembro correspondem aos meses com menor índices pluviométricos. Contudo, novembro de 2015 registrou zero milímetro de precipitação, afetando significativamente o armazenamento de água no solo e,

consequentemente, afetando a disponibilidade e absorção hídrica para as plantas da região.

4.3. Armazenamento de água no solo e curva de retenção da água no solo

A distribuição diária de precipitação pluvial e armazenamento de água no solo (camada de 0-50 cm) na pastagem e na caatinga é apresentada na Figura 12.

Figura 12. Precipitação pluvial e armazenamento de água no solo (0-50 cm) no período de 01/10/2013 a 30/09/2015 em área de caatinga e pastagem em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Para uma melhor observação da precipitação e armazenamento de água do solo na região, optamos por alocar os dados acima durante 2 anos ininterruptos (outubro de 2013 a setembro de 2015).

Durante este período, as maiores precipitações foram registradas nos dias 06/04/2014 (41,7 mm) e 04/12/2014 (52,6 mm). O armazenamento de água na área de pastagem ficou em média de 40,3 mm, com máximas e mínimas, respectivamente, de 78,8 mm e 28,8 mm. Já a caatinga oscilou com máxima de 41 mm e mínima de 11,2 mm, sendo sua média entorno de 18,2 mm. Portanto, a média geral da pastagem foi superior em 22,1 mm de água a mais em comparação com a caatinga.

Entretanto, este comportamento foi semelhante aos relatados por Alves (2015) nessa mesma área de estudo e por Silva (2015) em Serra Talhada no sertão Pernambucano. Em ambos os casos, o armazenamento de água no solo da pastagem foi maior que na área de caatinga.

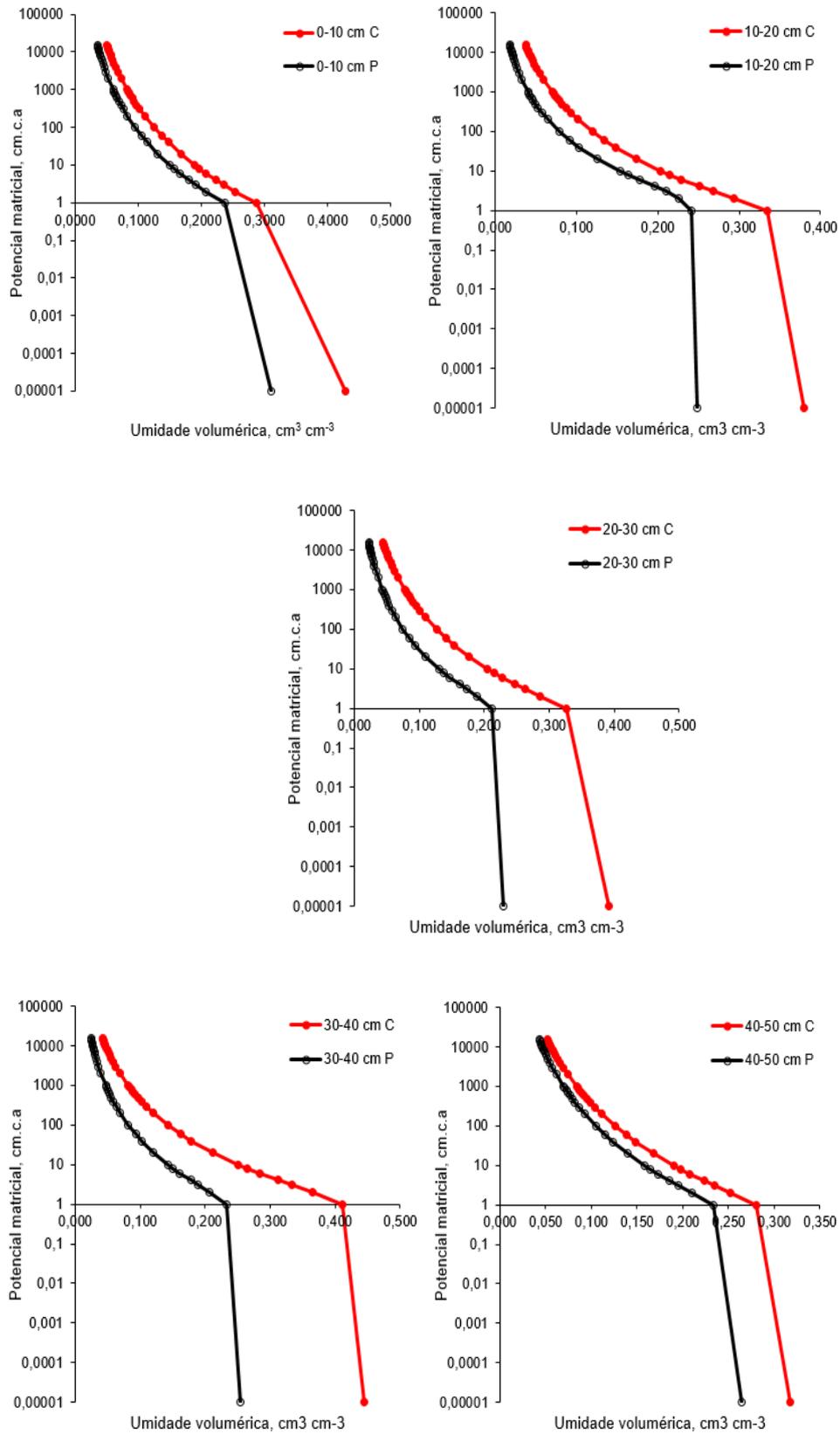
Muito provável que isto ocorra por conta da maior área de exploração das raízes das plantas da caatinga, que conseguem extrair água das camadas mais profundas do solo. Li et al. (2005) afirma em seu trabalho que a distribuição das raízes em áreas de savana consegue ser mais agressiva e aumentar a extração da água que está mais profunda do solo.

Já a raiz da Poaceae é mais superficial em sua área de exploração. No entanto, elas são mais responsivas as mudanças sazonais de precipitação se comparadas com o componente arbóreo (Merbold et al., 2008).

Outra provável explicação para o menor armazenamento de água na caatinga é devido a perda da água da chuva por interceptação do dossel, uma vez que o dossel da caatinga é mais robusto e retém parte da água precipitada no local que, posteriormente, retorna para a atmosfera por evaporação. Logo, não chegando a atingir a superfície do solo. Essas perdas por interceptação na caatinga podem variar muito, como os 13% relatados por Medeiros et al., (2009) no sertão de inhamuns cearense ou os 32,2% descritos por Marin e Menezes (2008) no agreste paraibano.

As curvas de retenção de água nas camadas 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-50 cm de solo da área de pastagem e de caatinga são apresentados na Figura 13.

Figura 13. Curvas de retenção da água nas camadas 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm e 40-50 cm de solo em área de caatinga e pastagem em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Percebe-se nitidamente que, em todas as camadas estudadas, a área de caatinga se sobressai frente a área de pastagem no quesito retenção de água no solo. Vale lembrar que o manejo empregado interfere diretamente nas características físicas de um solo. No caso da caatinga, existe um menor pisoteio e trânsito constante de animais ou máquinas agrícolas como o adotado na área com pastagem.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Oliveira Júnior et al., (2011) que observaram neste mesmo Neossolo quartzarênico da área de estudo da pastagem uma menor retenção de água se comparado com a caatinga, em virtude do grau de pisoteio dos animais, ocasionando a compactação que, por sua vez, favorece uma maior densidade do solo devido a redução do volume total de poros no solo.

O sistema atual de pecuária extensiva tem as forragens tropicais como sua principal base de volumoso nas dietas. No entanto, o manejo empregado nessas áreas tem como consequência o esgotamento do sistema e a degradação do solo (aumento da densidade do solo, maior grau de compactação e menor retenção de água). Isto se reflete em baixa qualidade e produção de biomassa da forragem, uma vez que a planta terá menos água disponível para sua absorção Viana et al., (2015).

As médias de densidade do solo e partículas, porosidade total e parâmetros utilizados para o ajuste de retenção da água pela equação de van Genuchten de um Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem no município de São João – PE são apresentadas na tabela 3:

Tabela 3. Densidade do solo, porosidade total e parâmetros de ajustes da curva de retenção da água pelo modelo de van Genuchten em diferentes camadas de um Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem no município de São João – PE

Camada/área	Parâmetros da equação de van Genuchten					Densidade	Porosidade
	θ_s	α	n	m	R ²	(g cm ⁻³) Solo	total (%)
0-10 cm C	0,428	9,055	2,181	0,083	0,994	1,34	49,45
10-20 cm C	0,380	1,475	2,231	0,104	0,982	1,46	44,91
20-30 cm C	0,392	2,231	2,209	0,095	0,991	1,43	46,04
30-40 cm C	0,444	1,032	2,244	0,109	0,997	1,38	47,93
40-50 cm C	0,317	1,810	2,178	0,082	0,991	1,48	44,16
0-10 cm P	0,311	3,853	2,198	0,090	0,983	1,40	47,17
10-20 cm P	0,248	0,512	2,291	0,127	0,993	1,50	43,4
20-30 cm P	0,230	1,071	2,239	0,107	0,995	1,51	43,02
30-40 cm P	0,254	1,085	2,241	0,108	0,992	1,46	44,91
40-50 cm P	0,264	1,810	2,178	0,082	0,980	1,42	46,42

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Percebe-se que o manejo adotado na área de pastejo extensivo interfere diretamente nos atributos físicos do solo, favorecendo uma maior densidade do solo e afetando sua disponibilidade hídrica. Uma vez que a compactação se dá devido ao pisoteio constante dos animais durante sua locomoção na área de pastejo (Oliveira et al., 2007). No caso da caatinga, isto não ocorre, pois, a menor quantidade e intensidade de animais transitando na área contribui para um menor grau de compactação, conseqüentemente, a densidade de solo tende a ser menor se comparado com a área de pasto.

Os resultados corroboram com os obtidos por Sales et al. (2010) em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes usos de sistemas agrícolas empregados onde as maiores alterações foram observadas nas camadas superficiais de 0 a 10 cm de solo em sistema de pastejo e integração agricultura-pecuária.

Matias et al. (2009) afirmam que a diminuição da macroporosidade é inversamente proporcional ao aumento da densidade do solo. Logo, a medida que a compactação aumenta em função do manejo empregado, reduz-se o volume total de poros, sobretudo, a macroporosidade de determinado solo.

Conforme a curva de retenção de água usando o modelo de van Genuchten, apuramos um alto poder esclarecedor com relação ao coeficiente de determinação (R^2) acima de 98%, conforme a tabela 3 nas diferentes profundidades observadas, tanto na área da caatinga, quanto na área de pastagem. O modelo de ajuste pela curva representa graficamente a relação entre o potencial matricial em escala logarítmica (retenção de água) e o seu conteúdo remanescente no solo (van Genuchten, 1980).

Os valores de θ_s observados na caatinga são superiores aos observados na pastagem, isto se explica devido ao manejo empregado no pasto que favorece a compactação e, conseqüentemente, ocasiona uma maior redução da porosidade total do solo e um aumento da densidade (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2014) em um Latossolo amarelo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano em comparação com área de mata, uma vez que θ_s é função da porosidade total (PT).

A capacidade de campo, ponto de murcha permanente e teor de água disponível no solo em diferentes camadas do Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em diferentes camadas de um Neossolo Regolítico sob área de caatinga e pastagem no município de São João – PE

Camada	Caatinga	Pastagem	Caatinga	Pastagem	Caatinga	Pastagem
	Capacidade de campo		Ponto de murcha permanente		Água disponível	
	(cm ³ .cm ⁻³)					
0–10 cm	0,1249	0,095	0,0505	0,035	0,075	0,060
10–20 cm	0,120	0,079	0,038	0,018	0,082	0,061
20–30 cm	0,126	0,075	0,044	0,023	0,082	0,052
30–40 cm	0,143	0,082	0,042	0,025	0,101	0,057
40–50 cm	0,126	0,105	0,052	0,043	0,074	0,062

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

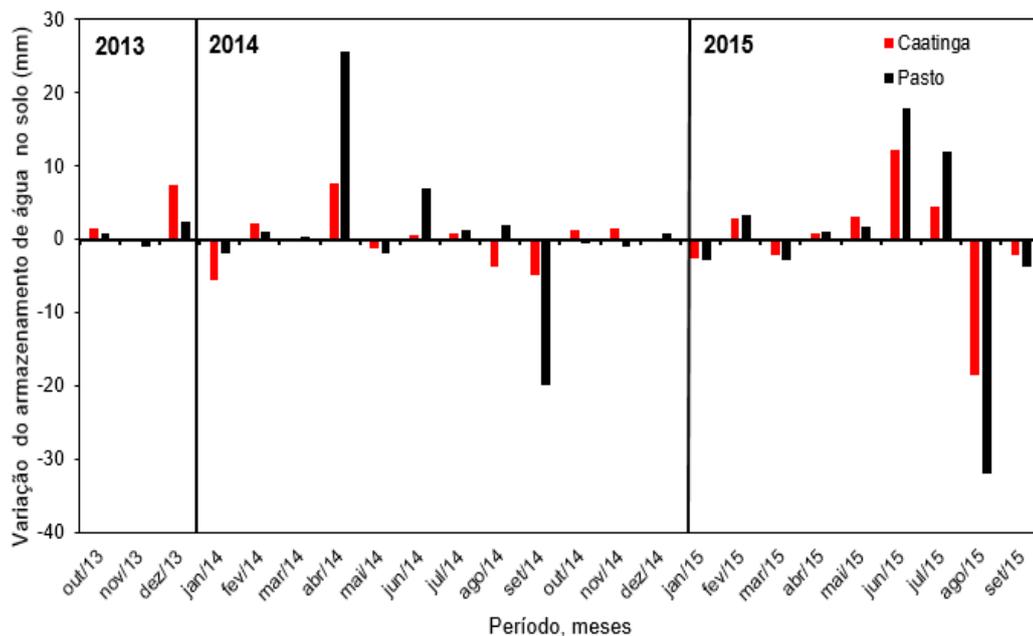
O teor água disponível na caatinga é numericamente superior ao observado na pastagem para todas as camadas. Isto se deve as características fitofisionômicas do dossel e das raízes se comparado com a pastagem. Logo, o acúmulo de matéria orgânica no solo da caatinga também é maior se compararmos com a pastagem (Santos, 2012). Isto favorece uma maior diversificação da biota do solo que, conseqüentemente, contribui para uma maior ciclagem de nutrientes, melhor estrutura do solo e estabilidade dos agregados.

Parente et al. (2010) ressaltam que um solo que possui boa estrutura, menor grau de compactação e maior teor de matéria orgânica em sua composição consegue reter uma maior quantidade de água. Além disso, as propriedades físicas do solo, como a densidade e a porosidade, influenciam na retenção de água no solo (Tabela 3), fazendo com que a capacidade de campo e a água disponível na caatinga sejam maiores que na pastagem.

4.4. Componentes do balanço hídrico

A variação do armazenamento de água no solo na área da caatinga e da pastagem entre o período de 01/10/2013 a 30/09/2015 é apresentada na Figura 14.

Figura 14. Variação do armazenamento de água no solo da caatinga e da pastagem durante o período de outubro de 2013 a setembro de 2015 em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Observa-se que os períodos com maiores valores de precipitação pluvial resultaram numa variação de armazenamento positiva, indicando que as perdas de água no solo, via evapotranspiração e escoamento superficial foram menores que a entrada de água, via precipitação. Isso ocorreu tanto na área de caatinga quanto na área de pastagem, na menor parte do tempo, sendo mais evidente nos meses de abril de 2014, junho e julho de 2015. Por outro lado, na maior parte dos meses, principalmente em setembro de 2014

e agosto de 2015, ocorreu comportamento inverso, com as saídas de água sendo maiores que a entrada.

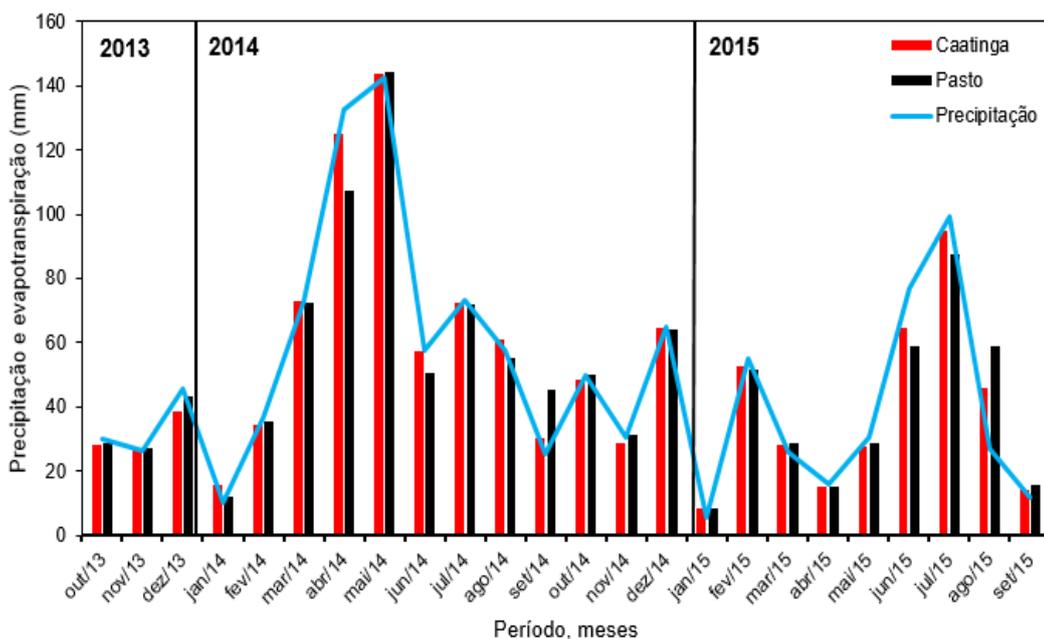
O valor final da variação do armazenamento de água na caatinga foi de 4,9 mm e 9,23 mm na pastagem. Portanto, praticamente toda a água que entrou no sistema, tanto na caatinga quanto na pastagem, saiu novamente devido a drenagem e a evapotranspiração.

Alves et al. (2015) encontraram 9,1 mm de saldo disponível na caatinga nesta mesma área de estudo, resultado este semelhante ao nosso. Este maior consumo de água se dá pelo sistema radicular altamente adaptado as condições do semiárido por parte das plantas da caatinga, o que permite que explorem uma área maior de solo em busca de água e nutrientes.

Cavalcante et al. (2016) avaliando uma pastagem localizada no município de Serra Talhada – PE (Sertão pernambucano), nos anos de 2014 e 2015 encontrou um saldo de armazenamento de água no solo (3,24 mm) um pouco abaixo se comparado ao relatado na pastagem deste trabalho (9,23 mm).

A precipitação pluvial e a variação mensal da evapotranspiração (ET) na área de caatinga e de pastagem entre o período de 01/10/2013 a 30/09/2015 é apresentada na Figura 15.

Figura 15. Precipitação e evapotranspiração mensal na área de caatinga e pasto durante o período de outubro de 2013 a setembro de 2015 em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

A evapotranspiração total na caatinga foi de 1.200 mm, o que representa 99,6% do total precipitado na área durante todo o período de observação que foi de 1.205 mm. Já a evapotranspiração total na pastagem foi de 1.195 mm, o que representa 99,23 % do total precipitado na área durante todo o período de estudo, que correspondeu a 1.205 mm.

A média diária da evapotranspiração na caatinga durante todo o período de investigação foi de 1,64 mm d⁻¹. Assim sendo este semelhante ao encontrado por Gondim et al. (2015) nesta mesma área de estudo que foi de 1,5 mm.d⁻¹. A média diária da evapotranspiração observada na pastagem durante todo o período de investigação foi exatamente a mesma da caatinga (1,64 mm d⁻¹). Souza et al. (2014) avaliando a evapotranspiração em área de pastagem na microrregião do Pajeú pernambucano (bioma caatinga) nos anos de 2012 e 2013 encontraram média bem menor (0,51 mm d⁻¹).

A variabilidade sazonal interferiu claramente nos resultados obtidos em ambos os casos. Na caatinga, o mês de maio de 2014 teve a maior média diária registrada com 4,63 mm d⁻¹ e o mês de janeiro de 2015 obteve a menor média diária observada com 0,27 mm d⁻¹. No pasto não foi diferente, o mesmo mês de maio de 2014 apresentou a maior média diária registrada com 4,66 mm d⁻¹, enquanto no mês de janeiro de 2015 também se observou a menor média diária que na caatinga (0,27 mm d⁻¹).

Machado et al. (2015), que também desenvolveram trabalhos nesta mesma propriedade do agreste meridional pernambucano com gramíneas, observaram que o período com maior evapotranspiração neste local corresponde aos meses de abril até agosto.

Percebe-se uma correlação positiva entre a evapotranspiração e a quantidade precipitada. Portanto, quanto maior a precipitação pluvial, maior será a evapotranspiração tanto na área de caatinga quanto na pastagem.

O escoamento superficial durante este período de avaliação do balanço hídrico na caatinga e na pastagem não foi medido, daí o motivo para considerarmos nulo neste caso.

O escoamento superficial nas áreas da caatinga e da pastagem são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Eventos de escoamento superficial entre março e junho de 2016 em área de caatinga e pastagem em São João - PE

Período	Pasto	Caatinga
mar/16 a jun/16	1,7 mm	2,03 mm

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O escoamento superficial na área de pastagem foi registrado apenas uma vez, sendo este o maior valor encontrado durante todo período de observação para ambos os locais estudados (1,7 mm).

No entanto, no período de avaliação, registrou-se 2,03 mm nas calhas alocadas na caatinga. Os valores observados estão abaixo dos relatados por Souza (2015) em área de pastagem em Serra Talhada – PE (Bioma Caatinga) para os mesmos meses observados, porém, anos distintos. Vale ressaltar que o volume e cronograma do regime de chuvas na região de São João e Serra Talhada são diferentes.

Devido ao baixo teor da fração argila e alta quantidade da fração areia em sua composição, os Neossolos Regolíticos se caracterizam pela boa drenagem, facilitada sobretudo pela macro porosidade demasiada e micro porosidade reduzida em virtude de sua arranjo estrutural.

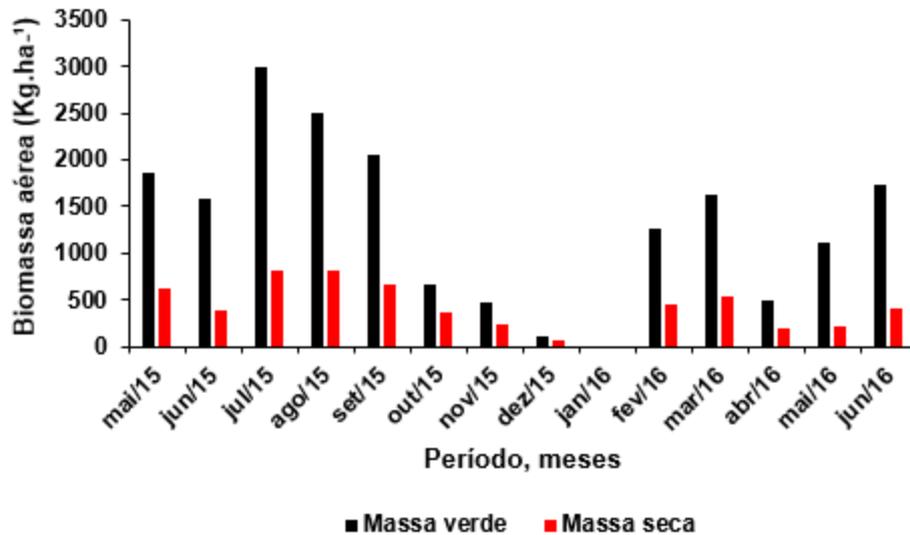
Contudo, em regiões com alto índice pluviométrico, caracterizada por chuvas torrenciais, estes solos são extremamente vulneráveis as perdas de solo ocasionadas pelo escoamento superficial, isto claro, dependendo do tipo de uso do solo ou vegetação de cobertura em questão. No entanto, os valores de escoamento superficial observados neste trabalho são semelhantes entre si.

Diante da escassez de trabalhos relacionados ao escoamento superficial na caatinga, se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas em diferentes pontos visando compreender este evento em um bioma tão complexo como é caatinga.

4.5. Medidas de biomassa

O desenvolvimento mensal da biomassa aérea verde e seca da pastagem no período de maio de 2015 a junho de 2016 é exibido na figura 16.

Figura 16. Biomassa aérea verde e seca da pastagem localizada na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, no período de maio de 2015 a junho de 2016



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

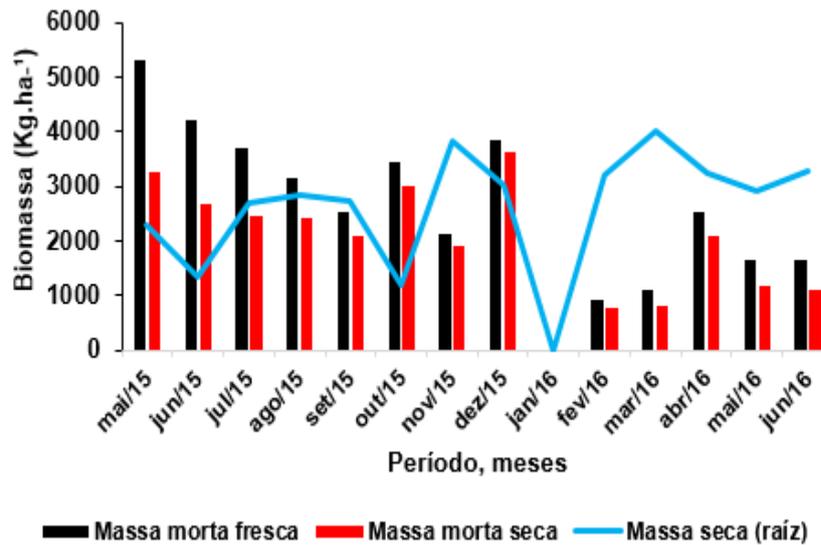
Nota-se que nos meses de julho e agosto a biomassa aérea verde atingiu seu ápice (respectivamente, 2.997 Kg.ha⁻¹ e 2.495 Kg.ha⁻¹), a biomassa aérea seca também coincidiu com esta tendência, sendo julho com 805 Kg.ha⁻¹ e agosto com 810 Kg.ha⁻¹. Isto se deve aos maiores índices pluviométricos registrados nos meses de junho e julho de 2015 (respectivamente 105,5 mm e 165 mm). Ademais, a maior precipitação pluviométrica é diretamente proporcional ao armazenamento de água no solo, por conseguinte, favorece um maior rendimento e produção de biomassa verde da vegetação (Silva, 2015).

Todavia, a partir do mês de setembro de 2015 até o final do ano corrente, houve um decréscimo na biomassa aérea como um todo. Tal comportamento também foi observado por Silva (2014) na fazenda Riacho do Papagaio no município de São João – PE.

Os menores índices de biomassa aérea verde e seca foram encontrados no mês de dezembro de 2015 (respectivamente, 108 Kg.ha⁻¹ e 72 Kg.ha⁻¹).

O desenvolvimento mensal da biomassa morta fresca, biomassa morta seca e biomassa seca da raiz ao longo de maio de 2015 a junho de 2016 é apresentado na figura 17.

Figura 17. Biomassa morta fresca, morta seca e biomassa seca da raiz da pastagem localizada na fazenda Riacho do Papagaio, em São João-PE, no período de maio de 2015 a junho de 2016.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

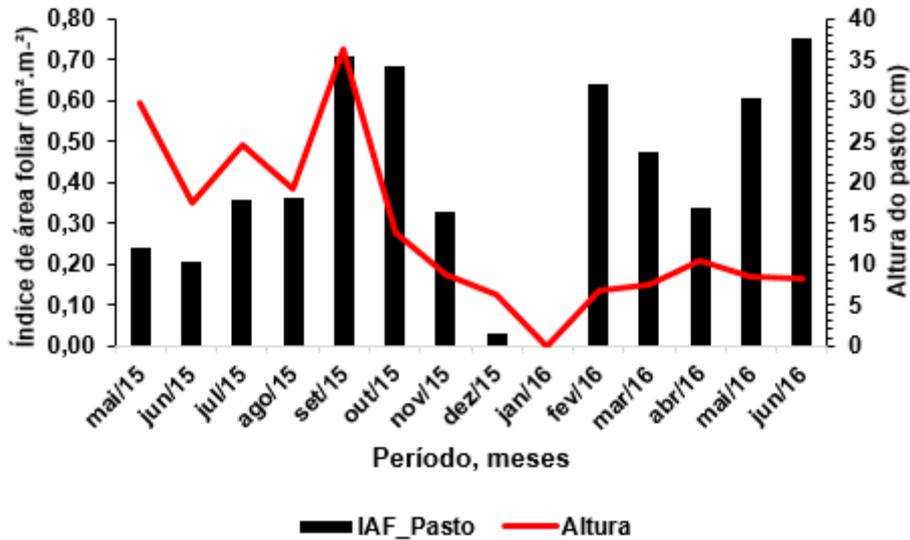
O mês de maio de 2015 apresentou o maior índice de massa morta fresca (5.316 Kg.ha⁻¹) e massa morta seca (3.254 Kg.ha⁻¹). Gondim (2015) encontrou resultado semelhante na cobertura morta para o mês de maio em trabalho realizado com *Brachiaria decumbens* no município de São João – PE. Contudo, a quantidade de biomassa verde, massa morta, bem como sua arquitetura está diretamente relacionada a disponibilidade hídrica, pressão de pragas (cigarrinha) e pastejo empregada no ambiente, bem como a disponibilidade de nutrientes no solo. O mês de fevereiro apresentou os menores índices de massa morta fresca e massa morta seca (respectivamente, 921 Kg.ha⁻¹ e 766 Kg.ha⁻¹).

Tendo em vista que o estresse hídrico é uma das principais causas de redução da produtividade agrícola e causador de mudanças significativas na anatomia e morfologia das plantas (Bastos et al., 2011), a massa seca da raiz acusou seu maior índice em março de 2016 com 4.025 Kg.ha⁻¹. Muito provavelmente isto se deu devido à baixa disponibilidade hídrica nas camadas superficiais do solo. Este mecanismo fisiológico de sobrevivência faz com que as plantas aumentem sua área de exploração da raízes visando absorver mais água do solo, sobretudo das camadas mais profundas (Varshney et al., 2011). Entretanto, o menor índice de massa seca da raiz se deu no mês de outubro de 2015 (1.200 Kg.ha⁻¹).

4.6. Índice de área foliar e altura de pasto

O IAF (índice de área foliar) e altura do pasto na fazenda Riacho do Papagaio é exibido na figura 18.

Figura 18. Índice de área foliar de pastagem e altura do pasto durante o período de maio de 2015 a junho de 2016 em São João – PE.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

De acordo com os dados coletados, durante os períodos de maio/junho de 2015 e novembro/dezembro de 2015 nota-se os menores índices de área foliar. No primeiro período citado, isto se deve a pressão de pastejo dos animais criados no sistema extensivo. No segundo período citado, coincidiu com os menores índices pluviométricos registrados durante o período observado conforme mostrado na figura 12. Conseqüentemente, o armazenamento da água do solo diminui drasticamente, reduzindo assim a disponibilidade hídrica para as plantas. No entanto, não houve coleta de dados no mês de janeiro de 2016.

Gondim (2015), durante estudos realizados nesta mesma área também observou decréscimo no IAF durante os meses de novembro e dezembro, sendo que a média geral para todo o período foi de 0,81, sendo o IAF máximo de 1,65 durante o período chuvoso e 0,24 durante a estação seca. No entanto, os valores observados nesta pesquisa estão abaixo destes níveis, sendo o IAF máximo de 0,78 no mês de junho de 2016 e o mínimo de 0,03 observado no mês de dezembro de 2015.

A imagem abaixo (figura 17) foi registrada durante o mês de dezembro de 2015 e retrata bem o poder da restrição hídrica no estande de forragem do pasto sob sistema de pecuária extensiva da fazenda Riacho do Papagaio.

Figura 19. Área de pastagem extensiva da fazenda Riacho do Papagaio, município de São João – PE durante o mês de dezembro de 2015.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Quanto à altura do pasto, o maior valor encontrado foi no setembro de 2015, quando atingiu 36,3 cm decorrente dos meses mais chuvosos e com maior armazenamento de água no solo. Já a menor altura observada se deu no mês de dezembro de 2015, correspondente a 6,2 cm de altura, decorrente do período mais seco. A pressão de pastejo, baixa precipitação pluviométrica registrada, aliado ao manejo extensivo que consiste em não reposição de nutrientes e repouso do solo contribuiu significativamente para o grau de degradação da pastagem e baixa altura do pasto.

Os valores de altura do pasto observados neste trabalho estão abaixo dos encontrados por Gomes (2013) em estudos também realizados na fazenda Riacho do Papagaio, município de São João - PE, em que mesmo no período mais seco (outubro de 2011), a menor altura média relatada foi de 48,9 cm.

5. CONCLUSÕES

O manejo extensivo na área de pastagem extensiva contribuiu diretamente para a redução dos atributos físicos de qualidade do solo. O pisoteio do gado está ligado ao aumento da densidade do solo em decorrência da compactação causada, reduzindo assim o volume total de poros. Como consequência, a curva de retenção de água realizada no Neossolo Regolítico da pastagem se mostrou com menor capacidade de retenção de água em seus poros se comparado com o Neossolo Regolítico da área da caatinga.

A evapotranspiração da caatinga (1.200 mm) foi semelhante ao da pastagem (1.195 mm) durante todo o estudo. O período com maior evapotranspiração se deu entre maio e agosto. A evapotranspiração na caatinga e na pastagem é diretamente proporcional à precipitação. Logo, quanto maior a precipitação, maior a evapotranspiração. O armazenamento de água final na pastagem (9,23 mm) foi semelhante ao encontrado na caatinga (4,9 mm).

O escoamento superficial foi mínimo durante todo o período observado (dezembro de 2015 a junho de 2016). Faz – se necessários novos estudos na caatinga para compreender a dinâmica desse importante componente do balanço hídrico. Por fim, a maior produção de biomassa vegetal da forragem coincidiu com os meses com maiores índices pluviométricos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, S. G.; BANDEIRA, G. R. L. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 30, p. 885-891, 1995.
- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife, v. 6. n. 2, p. 337-343, 2011.
- ALVES, M. C. Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidroelétrica de Ilha Solteira, SP. 2001. Ilha Solteira: UNESP, 83 p. Tese Livre Docente. 2001.
- ALVES, E. M. Fluxos de energia, vapor d'água e CO₂ entre a vegetação e a atmosfera no agreste meridional de Pernambuco. 2015. 98 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em 05 dez. 2015.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php?posto_id=281>. Acesso em 20 dez. 2016.
- ARAÚJO, G. M. Maras ciliares da caatinga: florística, processos de germinação e sua importância na restauração de áreas degradadas. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.
- ÁVILA, L. F. MELO, C.R.; PINTO, L.C; SILVA, A.M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014.
- BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.
- BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 1, p. 52-61, 2009.
- BASTOS, E.A. et al. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agrônômica*, v.42, p.100- 107, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100013>>. Acesso em: 01 jul. 2017. doi 10.1590/ S1806-66902011000100013.

- BEGA, R. M. et al. Variabilidade espacial das precipitações pluviárias diárias em uma estação experimental, em pindorama, SP. *Bragantia*, v.64, n.1, p.149-156, 2005.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, E. F. F.; LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, BRASIL). *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 2011 - 220, jul. – set., 2014.
- BORGES, S. B.; OLIVEIRA, M.; BAUMHARDT, E.; PAIXÃO, C.P.S.; JESUS, A.G. Precipitação e Interceptação em uma floresta Ombrófila aberta na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, v.1, p. 21, 2012.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Territórios Rurais de Pernambuco: Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Agreste Meridional de Pernambuco. Brasília, 2011. Disponível em: <http://agrestemeridional.territoriosruraispe.com.br/ptdrs_agrestemeridional.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- CABANÊZ, P. A.; FERRARI, J. L.; PAULA, M. F.; CABANÊS, P. A. Precipitação efetiva: uma perspectiva para os estudos em Agroecologia. *Revista Verde (Mossoró – RN)*, v. 6, n. 5, p. 15, 2011.
- CAVALCANTE, H. M. B. Mudança do uso da terra e efeitos ec hidrológicos em área de caatinga e pastagem no semiárido pernambucano. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada - PE, 2016.
- CUARTAS, L.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.G; WATERLOO, M.J.; MÚNERA, J.C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: marked differences between normal and dry years. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 145, n. 1/2, p. 69-83, July 2007.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI.; KRUGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, (suplemento), p.855-864, 2009.
- DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4º ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA, 2011.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema. [et al.]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FIRMINO, F. H. T. Gênese de lamelas emu ma lipotopossequência no semiárido brasileiro. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

- FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. A.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1743-1751, 2008.
- GOMES, C. A. Medição e simulação dos fluxos de energia e evapotranspiração em solo cultivado com *Brachiaria decumbens* na microrregião de Garanhuns - PE. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2013.
- GONDIM, R.S.; FUCK JUNIOR, S.C.F.; EVANGELISTA, S.R.M.; CASTRO, M.A.H.; TEIXEIRA, A.S. Impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração em nível de bacia hidrográfica utilizando um Sistema de Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.16, p.5-12, 2011.
- GONDIM, P. S. D. S.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C.; HAMMECKER, C.; DA SILVA, R. A.; GOMES, C. A. L. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 3-8, 2015.
- GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um cambissol gleico de Lugo, Espanha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005.
- IBGE. Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em 18 ago. 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Censo Agropecuário 2006. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf>. Acesso em 01/08/2017
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis: advance Course. 29. Ed. Madison, 1975. 895 p.
- LEAL, I.R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. & LACHER JUNIOR, T.E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade* 1(1):139-146, 2005.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Ecologia e conservação da caatinga. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.
- LI, K. Y.; COE, M. T.; RAMANKUTTY, N. Investigation of hydrological variability in West Africa using land surface models. *Journal of Climate*, v. 18, n. 16, p. 3173-3188, 2005.
- LI, K.Y.; COE, M.T.; RAMANKUTTY, N.; JONG, R. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. *Journal of Hydrology*, v. 337, p. 258– 268, 2007.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: ESALQ, 1995. 497 p.

- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Ed. EDUSP, 2005. 335 p.
- LIMA, J. R. S. Balanço hídrico e de energia em solo cultivado e sem vegetação, para as condições do Brejo paraibano. 2004. 167 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife-PE. v. 1, n. único, p. 89 - 95, out – dez, 2006.
- LIMA, J. R. de S.; SOUZA, E. S. de; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. de F. da; CORRÊA, M. M.; LIRA, C. A. B. de O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife, v.9, n.4, p.599-605, 2014.
- MACHADO, C. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M.; SOUZA, E. S.; RIBEIRO, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 3, p. 731-740, 2015.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. Z. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2573 - 2579, 2008.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.
- MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BORNSTERT, 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.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no Semiárido paraibano. In: SILVEIRA, L. M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (ed.). *Agricultura familiar e agroecologia no Semiárido: avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002, cap. 8. p.249-260.
- MERBOLD, L.; ARDO, J.; ARNETH, A.; SCHOLLES, R. J.; NOUVELLON, Y.; DE GRANDCOURT, A.; ARCHIBALD, S.; BONNEFOND, J. M.; BOULAIN, N.; BRUEMMER, C.; BRUEGGEMANN, N.; CAPPELAERE, B.; CESCHIA, E.; EL-KHIDIR, H. A. M.; EL-TAHIR, B. A.; FALK, U.; LLOYD, J.; KERGOAT, L.; LE DANTEC, V.; MOUGIN, E.; MUCHINDA, M.; MUKELABAI, M. M.; RAMIER, D.; ROUPSARD, O.; TIMOUK, F.; VEENENDAAL, E. M.; KUTSCH, W. L. Precipitation as driver of carbon fluxes in 11 African ecosystems. *Biogeosciences Discussions*, v. 5, p. 4071-4105, 2008

- 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.
- OLIVEIRA, V. P.; GODOI FILHO, C. A. S.; ROCHA, J. M. A dinâmica produtiva do rural no município de São João (PE): entre a produção e a pobreza. In: V simpósio Internacional de Geografia Agrária, 2011, Belém (PA). *Questões Agrárias na Panamazônia no século XXI: usos e abusos do território*, 2011.
- OLIVEIRA G.C.; SEVERIANO, E.C.; MELLO, C.R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.3, p.265-270, 2007.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. S.; SOUZA, E. S.; CORREA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, R. M. S.; SILVA FILHO, L. A. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. *Campina Grande – PB, R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.18, n.6, p.631–639, 2014.
- PARENTE, H. N.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, E. S.; ARAÚJO, K. D.; MAIA, M. O. Impacto do pisoteio caprino sobre atributos do solo em área de caatinga. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, p.331-341, 2010.
- PRADO, D. E. A critical evaluation of the floristic link between Chaco and Caatingas vegetation in South América. PhD Thesis, University of St. Andrews, 1991.
- PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. Escoamento superficial. Viçosa, UFV, 2003, 88 P.
- PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 2, 2001.
- REICHARDT, K. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2° ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996, 513 p.
- SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 667-674, maio/jun., 2010.
- SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.683-695, 2012.

- SILVA, P. F. Fluxo de CO₂, água e energia em pastagens e caatinga no semiárido pernambucano. 2015. 51 f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns - PE, 2015.
- 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 (Braquiária decumbens Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 147-157, 2014.
- SILVA, D. C.; Interceptação da chuva e escoamento superficial de água no semiárido pernambucano. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada – PE, 2017.
- SOARES, W. A.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; SOUSA, E. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIMA, C. A. B. O. S. Simulação dos Fluxos de Água e de Energia na Microbacia Hidrográfica da Represa Vaca Brava no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, p.185-196, 2013.
- SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S. Dinâmica de energia, água e carbono em área de pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.5, p.449–455, 2015.
- 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, p.128–135, 2008.
- SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131 – 150, jan/abr. 2015.
- SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; GALLÁRRETA, C. G.; PRÉCHAC, F. G.; PETILLO, M. G. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 74-81, 2009.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n.5, p.892-898, 1980. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>>.
- VARSHNEY, R. K; PAZHAMALA, L.; KASHIWAGI, J.; GAUR, P. M.; KRISHNAMURTHY, L.; HOISINGTON, D. Genomics and physiological approaches for root trait breeding to improve drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Root Genomics*, v.10, p. 213-222, 2011.
- VIANA, J. S.; BARBOSA, J. G.; SILVA, J. A.; BRITO, T. R. C.; BADJI, C. A. Integração soja e pastagem: Uma revisão de literatura. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal-PB, v. 10, p. 71-75, 2015.

VOLK, L. B. S. Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo).