

THAIS EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS

**DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO
EM BACIA EXPERIMENTAL DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO
EM BACIA EXPERIMENTAL DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

**RECIFE
2010**

Ficha catalográfica

S237d Santos, Thais Emanuelle Monteiro dos
Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia
experimental do semiárido pernambucano / Thais Emanuelle
Monteiro dos Santos – 2010.
68 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia,
Recife, 2010.

Referências

1. Umidade do solo 2. Física do solo 3. Semiárido
4. Práticas conservacionistas 5. Sonda de nêutrons 6. TDR
I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orientador
II. Título

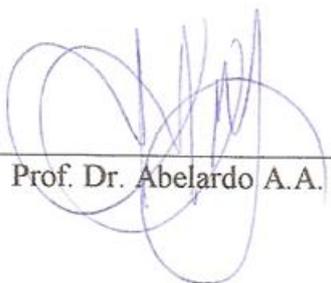
CDD 631.34

**DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA UMIDADE DO SC
EM BACIA EXPERIMENTAL DO SEMIÁRIDO PERNAMBUC**

Thais Emanuelle Monteiro dos Santos

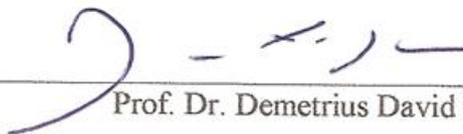
Tese defendida e aprovada em 17 de maio de 2010 pela banca examinadora

Orientador:

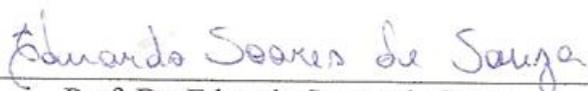


Prof. Dr. Abelardo A.A. Montenegro

Examinadores:



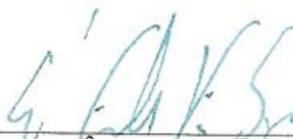
Prof. Dr. Demetrius David da Silva



Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza



Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino



Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

O ferro tira-se da terra, e da pedra se funde o cobre.
Ele põe fim às trevas, e toda a extremidade ele esquadrinha, a pedra da escuridão e a da sombra da morte.
Abre um poço de mina longe dos homens, em lugares esquecidos do pé; ficando pendentes longe dos homens, oscilam de um lado para outro.
Da terra procede o pão, mas por baixo é revolvida como por fogo.
As suas pedras são o lugar da safira, e tem pó de ouro.
Essa vereda a ave de rapina a ignora, e não a viram os olhos da gralha.
Nunca a pisaram filhos de animais altivos, nem o feroz leão passou por ela.
Ele estende a sua mão contra o rochedo, e revolve os montes desde as suas raízes.
Dos rochedos faz sair rios, e o seu olho vê tudo o que há de precioso.
Os rios tapa, e nem uma gota sai deles, e tira à luz o que estava escondido.
Porém onde se achará a sabedoria, e onde está o lugar da inteligência?
O homem não conhece o seu valor, e nem ela se acha na terra dos viventes.
O abismo diz: Não está em mim; e o mar diz: Ela não está comigo.
Não se dará por ela ouro fino, nem se pesará prata em troca dela.
Nem se pode comprar por ouro fino de Ofir, nem pelo precioso ônix, nem pela safira.
Com ela não se pode comparar o ouro nem o cristal; nem se trocará por jóia de ouro fino.
Não se fará menção de coral nem de pérolas; porque o valor da sabedoria é melhor que o dos rubis.
Não se lhe igualará o topázio da Etiópia, nem se pode avaliar por ouro puro.
Donde, pois, vem a sabedoria, e onde está o lugar da inteligência?
Pois está encoberta aos olhos de todo o vivente, e oculta às aves do céu.
A perdição e a morte dizem: Ouvimos com os nossos ouvidos a sua fama.
Deus entende o seu caminho, e ele sabe o seu lugar.
Porque ele vê as extremidades da terra; e vê tudo o que há debaixo dos céus.
Quando deu peso ao vento, e tomou a medida das águas;
Quando prescreveu leis para a chuva e caminho para o relâmpago dos trovões;
Então a viu e relatou; estabeleceu-a, e também a esquadrinhou.
E disse ao homem: Eis que o temor do Senhor é a sabedoria, e apartar-se do mal é a inteligência.”

(O homem tem ciência das coisas da terra, mas a sabedoria é dom de Deus)

Jó 28:1-28

Aos meus pais, Eduardo Jorge e Vasti,
e aos meus irmãos, Taynee, Eduardo e
Lazzaro, pelo amor.

DEDICO

Ao prof. Abelardo Montenegro, pela
grande motivação.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

A meus pais Eduardo e Vasti por serem tão presentes, pelo valor à família, pelos ensinamentos, pelo conselhos, por sorrirem e por se emocionarem com cada conquista nossa.

A meus irmãos Taynee, Lazzaro e Eduardo por sermos tão unidos.

A José de Almeida pelo apoio e carinho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade em realizar o Doutorado.

Ao prof. Abelardo Montenegro, por tantas coisas: por ter se doado tanto, por acreditar em mim, pelo incentivo, pelas oportunidades, pela motivação, por me ensinar tantas “palavras difíceis”, mas acima de tudo pela amizade construída ao longo destes oito anos de convivência, que agora se fortaleça mais ainda.

Ao prof Demétrius, pela oportunidade em vivenciar outra realidade e por ter me recebido tão carinhosamente.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Aos colegas da pós-graduação em Ciência do Solo, em especial às amigas Carol, Maria, Marise, Carla e Welka.

Aos professores da pós-graduação em ciência do solo.

Aos funcionários do departamento de solos, em especial a Socorro, Josué e Zeca.

Aos irmãos científicos, que tornaram o dia a dia mais descontraído, Valdemir, Júlio, Rogério, Tafnes, Tatiana Patrícia, Tatiana Keity, Diogo, Wagner, Adolfo, Eduardo, Caetano, Ricardo, Adriana, Karla, Robertson, Adriano, Cléber, em especial a Isaac e Rafael que foram sem dúvida meu grande apoio de campo e de laboratório, obrigada por tanto esforço e dedicação.

Ao amigo José Roberto (Betinho), pelas “palestras” concedidas ao longo desse tempo, por tantas conversas, pela descontração, pela companhia e apoio nas viagens de campo, tá certo que ele dormiu em quase todas, mas mesmo assim valeu.

A Alexandre, pela amizade verdadeira, pela companhia nos congressos da vida, por me fazer rir das versões das músicas de sua autoria, que sempre faz piadas das nossas lutas diárias de bolsistas, como o Rebolation, Guarany: o guerreiro, os funks inventados.

Às amizades construídas em Viçosa, em especial aos colegas do centro de referência em recursos hídricos (CRRH), obrigada por terem me acolhido na UFV.

Aos funcionários do transporte, em especial a Zeca, pelas grandes ajudas nas liberações dos transportes para viagens de campo.

Aos agricultores e bolsistas de campo, que acreditaram neste trabalho e se empenharam em ajudar, tornando as medições de campo possíveis: Vivaldo, Malaquias, Cícero, Reginaldo, João, Edivaldo

A professora Izabel, por sua contribuição no desenvolvimento do projeto.

Ao professor José Júlio Vilar Rodrigues que com grande satisfação deixo registrada aqui minha grande admiração por este profissional tão genial, tão humilde, tão professor.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1: VARIABILIDADE TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO, SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE, EM REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO	
Resumo.....	6
Abstract.....	7
Introdução.....	8
Material e métodos.....	10
Resultados e discussão.....	15
Conclusões.....	23
Referências bibliográficas.....	24
CAPÍTULO 2: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO COM USO DA REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDR)	
Resumo	27
Abstract	28
Introdução.....	29
Material e métodos.....	31
Resultados e discussão.....	39
Conclusões.....	64
Referências bibliográficas.....	65
Conclusões gerais.....	68

Capítulo I

Tabela 01. Características físicas do solo estudado na área experimental.....	10
Tabela 2. Valores médios do conteúdo de água do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, sob diferentes condições de superfície em diferentes períodos de monitoramento, para a profundidade de 20 cm e precipitação antecedente (ocorrida 15 e 7 dias antes do monitoramento de umidade).....	19
Tabela 3. Índice de cobertura do solo (%) para os tratamentos analisados durante o período de monitoramento da umidade do solo.....	20
Tabela 4. Valores médios do conteúdo de água no Argissolo amarelo Eutrófico abrupto, sob diferentes condições de superfície em diferentes períodos de monitoramento, para a profundidade de 40 cm.....	21
Tabela 5. Produtividade do feijoeiro nos diferentes tipos de tratamentos.....	23

Capítulo II

Tabela 1. Características físicas dos solos estudados nas áreas experimentais.....	32
Tabela 2. Critério para avaliação da efetividade da água no solo.....	38
Tabela 3. Dados de precipitação e lâmina escoada nas parcelas experimentais durante período experimental.....	45
Tabela 4. Médias das umidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico para as diferentes condições de superfície e umidade antecedente, estudadas em dias subseqüentes à ocorrência da precipitação.....	46
Tabela 5. Efetividade relativa da água no solo sob diferentes condições de superfície..	50
Tabela 6. Dados de precipitação e volume escoado nas parcelas experimentais durante período experimental.....	57
Tabela 7. Médias das umidades do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto para as diferentes condições de superfície, estudadas em dias subseqüentes à ocorrência da precipitação.....	58
Tabela 8. Efetividade relativa (%) da água no solo sob diferentes condições de superfície.....	61

Capítulo I

Figura 1. Localização da área de estudo, Pesqueira-PE.....	10
Figura 2. Detalhe das parcelas experimentais instaladas em campo. FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; SD- solo descoberto; VN- vegetação natural; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta.....	11
Figura 3. Representação da cobertura vegetal nos tratamentos: (a) feijão em nível + cobertura morta, (b) feijão em nível + microbarramentos, (c) feijão sob a condição morro abaixo, (d) solo descoberto.....	12
Figura 4. Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra, 2006.....	12
Figura 5. Curvas de retenção para o Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, nas profundidades de 20 (a) e 40 (b) cm.....	14
Figura 6. Equação de calibração da sonda de nêutrons para a profundidade de 20 cm...14	
Figura 7. Equação de calibração da sonda de nêutrons para a profundidade de 40 cm...15	
Figura 8. Climograma para Pesqueira (PE) entre 1961 e 2007. Fonte: Silva et al. (2008).....	16
Figura 9. Distribuição percentual das precipitações e erosividades mensais, para a Bacia do Alto Ipanema, nos anos de 2004, 2005 e 2009.....	17
Figura 10. Distribuição temporal da precipitação ocorrida na área experimental, no período de janeiro a outubro/2009.....	18
Figura 11. Distribuição temporal do conteúdo médio de água no solo na camada de 20 cm no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto sob diferentes condições de superfície do solo. VN- vegetação natural; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta e SD- solo descoberto.....	18

Capítulo II

Figura 1. Localização da área de estudo, na Bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE.....	32
Figura 2. Climograma para Pesqueira (PE) entre 1961 e 2007. Fonte: Silva et al. (2008).....	33
Figura 3. Distribuição percentual das precipitações e erosividades mensais, para a Bacia do Alto Ipanema, nos anos de 2004, 2005 e 2009.....	34
Figura 4. Sonda TDR confeccionada em laboratório.....	35

Figura 5. Curva de calibração para a TDR.....	35
Figura 6. Áreas experimentais I (a) e II (b) onde as parcelas experimentais estão instaladas, dotadas de sondas TDR e de pluviógrafo automático.....	36
Figura 7. Curvas de retenção para o Argissolo Amarelo Eutrófico típico (a) e para o Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (b), na profundidade de 20 cm.....	37
Figura 8. Distribuição da lâmina precipitada, temperatura, evapotranspiração potencial (a) e da intensidade de precipitação (b) ocorrida durante o período de estudo, na área experimental I.....	40
Figura 9. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados a cobertura morta; P- palma forrageira.....	42
Figura 10. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de março de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados a cobertura morta; P- palma forrageira.....	43
Figura 11. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.....	44
Figura 12. Comportamento da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico sob diferentes condições de superfície avaliadas sob as intensidades de precipitação ocorridas durante o período experimental. ANC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva. CN- cobertura natural; D- solo descoberto; B- barramento; P- palma.....	48
Figura 13. Frequência acumulada para os dados de umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico durante todo o período experimental.....	50
Figura 14. Semivariogramas temporais escalonados da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico na área experimental I, em função do tipo de cobertura da superfície..	51
Figura 15. Distribuição da lâmina precipitada, temperatura, evapotranspiração potencial (a) e da intensidade de precipitação (b) ocorrida durante o período de estudo, na área experimental II.....	52
Figura 16. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, para o mês de janeiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.....	54
Figura 17. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes	

condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.....55

Figura 18. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, para o mês de março de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.....56

Figura 19. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, para o mês de abril de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.....57

Figura 20. Comportamento da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto sob diferentes condições de superfície avaliadas sob as intensidades de precipitação ocorridas durante o período experimental. ANC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva. CN- cobertura natural; D- solo descoberto; B- barramento; P- palma.....60

Figura 21. Frequência acumulada para os dados de umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto durante todo o período experimental.....61

Figura 22. Semivariogramas temporais escalonados da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto na área experimental II, em função do tipo de cobertura da superfície.....63

Figura 23. Semivariogramas temporais experimentais e teórico para a caatinga presente nas áreas experimentais I e II, e relativo ao período de Dezembro de 2009 a Abril de 2010.....64

RESUMO GERAL

A região semiárida do nordeste do Brasil se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço. Por tratar-se de uma região com características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, ao solo e a vegetação, a região semiárida representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e da água em sistemas agrícolas sustentáveis. Assim o estudo da umidade do solo, nesta região, é de particular interesse para predição e interpretação, porque além de ser o fator chave que determina o escoamento superficial em resposta a dado evento de precipitação, também contribui para entendimento das mudanças no crescimento das plantas. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar temporalmente o perfil de umidade em solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície na variação do teor de umidade do solo bem como na produtividade do feijoeiro em regime de sequeiro, além de investigar a variabilidade espacial do conteúdo superficial da água no solo sob as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano. Para isso foram instaladas parcelas experimentais de erosão de 4,5 m de largura por 11 m de comprimento. No primeiro capítulo estas parcelas foram dotadas dos seguintes tratamentos, vegetação natural; feijoeiro consorciado com palma forrageira; feijoeiro cultivado morro abaixo; feijoeiro cultivado em nível, com cobertura morta e barramentos em pedras, e solo descoberto. E o monitoramento da umidade foi realizado com o equipamento sonda de nêutrons. No segundo capítulo os tratamentos adotados foram cobertura natural, solo descoberto, palma forrageira e barramentos associado à cobertura morta. E a umidade foi monitorada através da reflectometria no domínio do tempo. A partir dos resultados verificou-se que a condição de superfície influenciou expressivamente a variação do teor de umidade do solo tanto no período seco como no chuvoso. Verificou-se, também, que a utilização de cobertura morta, associada ao emprego de barramentos em pedra, proporcionou valores mais elevados de umidade no solo e incrementou a produtividade do cultivo de sequeiro do feijoeiro. A partir dos resultados verificou-se que a umidade do solo observada durante o período experimental apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo. A cobertura morta apresentou ser a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo, na encosta localizada sob Argissolo Amarelo Eutrófico típico, enquanto que a palma forrageira é a prática mais indicada para conservação da água em Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

GENERAL ABSTRACT

The semiarid region of northeastern Brazil is characterized by a poor rainfall distribution in time and space. As a region with natural features complex and highly heterogeneous in relation to rainfall, soil and vegetation, the semiarid region represents an enormous challenge to the use and management of soil and water in sustainable agricultural systems. Thus the study of soil moisture in this region is of particular interest to predict and interpret, because besides being the key factor that determines the runoff in response to a specific rain event, also contributes to understanding changes in plant growth. Therefore, this study aims at evaluating the temporal profile of soil moisture in the semiarid of Pernambuco, in order to investigate the effect of different surface conditions on the variation of moisture content of soil and bean productivity under upland, and to investigate the spatial variability of surface water content in soil characteristics of precipitation in the semiarid Pernambuco. Hence experimental erosion plots were installed being 4.5 m wide and 11 meters long. In the first chapter these plots were prepared with the following treatments: natural vegetation; bean intercropped with cactus, black beans downhill; bean grown on a level with mulch and stones, and bare soil. Humidity monitoring was conducted using a neutron probe device. In the second chapter the following treatments have been adopted: natural cover, bare soil, cactus associated with mulching. In this case, humidity was monitored by time domain reflectometry. From the results it was found that the surface condition significantly influenced the soil moisture variation in both the dry period and in the rainy season. There was also that the use of mulching, associated to the use of stone microdams producing higher values of soil moisture and increased productivity of rainfed bean crop. From the results it was found that the observed soil moisture during the experimental period showed high variability in time, related to different types of coverage and soil properties. Mulching had been more appropriate as conservation practice to maintain soil moisture, the slope located under Typic Hapludalf soil, while the cactus practice is recommended for water conservation in Ultisol abruptic.

INTRODUÇÃO GERAL

Dentre as diferentes variáveis hidrológicas, o conteúdo de água do solo é de particular interesse para predição e interpretação, porque além de ser o fator chave que determina o escoamento superficial em resposta a dado evento de precipitação, também contribui para entendimento das mudanças no crescimento das plantas (Ramos & Martínez-Casasnovas, 2006).

O conteúdo de água de um solo é um de seus atributos mais importantes, e um dos mais variáveis. O deslocamento e reciclagem de vários elementos químicos, o desenvolvimento dos processos bioquímicos do solo, o crescimento das plantas e uma série de outras propriedades físicas do próprio solo como densidade, resistência à penetração e tensão de cisalhamento, são significativamente influenciadas pelo teor de água. Sua quantificação é, portanto, de grande relevância (Cichotta, 2003).

A umidade armazenada próximo à superfície do solo afeta uma vasta variedade de interações no sistema terrestre em escalas temporais e espaciais. A umidade superficial do solo exerce o maior controle na partição da radiação em latente e sensível, e precipitação em escoamento e infiltração (Pan et al., 2008). Muitos estudos têm relatado os principais fatores que governam a variabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo, na camada superficial, sob diferentes tipos de vegetação. Em grandes escalas, assume-se que a topografia tem papel principal (Ramos & Martínez-Casasnovas, 2006).

Dentre os fatores que influem na variabilidade do conteúdo de água no solo encontram-se topografia, propriedades do solo, tipo e densidade da vegetação, profundidade do lençol freático, precipitação, radiação solar e outros fatores meteorológicos (Medeiros & Clarke, 2007).

Entretanto, é difícil identificar a importância relativa destes fatores devido à suas mútuas e múltiplas influências na umidade do solo. Conseqüentemente, a relação entre umidade do solo e os fatores mencionados acima necessitam ser estudados em vários locais e em diferentes escalas.

O solo apresenta um arranjo espaço-temporal variável de seus constituintes, decorrente da ação de fatores pedo-climáticos que agem na sua formação e da própria evolução temporal, por ser um sistema complexo. A interferência antrópica desvia o curso natural dessa evolução e imprime uma nova dinâmica aos processos presentes no mesmo (Dalmago, 2004).

Qualquer forma de cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação àquelas em ambiente nativo, solo virgem (Klein & Libardi, 2002; Costa et al., 2003). Após a interferência humana é, praticamente, impossível devolver-lhe as mesmas condições físicas que se encontram em ambiente natural. Entretanto, a forte degradação das mesmas pode ser evitada ou recuperada em diferentes graus, por meio de práticas de manejo adequadas, à medida que se conhece suas interações com o meio, especialmente, a dinâmica dos fluxos no sistema solo-planta-atmosfera.

O tipo de solo também pode influenciar na formação do selamento superficial, extensivas áreas em regiões semiáridas, com baixo teor de matéria orgânica e baixa estabilidade de agregados, tendem a formar encrostamento superficial, segundo Gicheru et al. (2004). A ocorrência de encrostamento no solo depende, além das características das chuvas, e presença de cobertura vegetal, de uma combinação de fatores físicos, químicos e biológicos das propriedades do solo. As propriedades físicas que possuem maior influência são a textura e a estabilidade de agregados (Bedaiwy, 2007). Devido ao fato de que os solos com maior erodibilidade serem aqueles com maior teor de silte, Wischnmeier & Mannering (1969) verificaram que o teor de matéria orgânica tem maior influência justamente sobre solos com maiores teores de silte.

Os fatores que controlam a umidade do solo em áreas áridas e semiáridas diferem daqueles de áreas úmidas. Em áreas secas, entretanto, outros fatores, especialmente disponibilidade de nutrientes, influenciam o comportamento dos ecossistemas áridos. É comumente aceito que se a água é limitada, se torna o recurso chave que limita o crescimento das plantas (Cantón et al. 2004).

A região semiárida do nordeste do Brasil se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando período de estiagem que ocorre de setembro a fevereiro, e período chuvoso, de março a agosto, representado por chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de água e solo. As atividades da agricultura de sequeiro na região se iniciam com as primeiras chuvas do ano, coincidindo com o período de ocorrência de chuvas erosivas (Santos et al., 2006).

Os pequenos agricultores da região semiárida do Nordeste brasileiro convivem com uma situação peculiar, quando se analisa os níveis de adoção de tecnologias e, ou, técnicas, em seus sistemas de produção. Isso decorre, principalmente, da grande diversidade socioeconômica e geoambiental que esta região apresenta (Cavalcanti, 1995).

Segundo Couto et al. (1996), o Nordeste brasileiro abriga mais da metade dos estabelecimentos rurais de base familiar do país. São mais de 2,0 milhões de estabelecimentos que ocupam mais de dois terços do pessoal rural ativo e são responsáveis por cerca de 33% do valor da produção agrícola regional, embora só ocupem 31% da área total e recebam apenas pouco mais de 8% do total dos financiamentos.

Por tratar-se de uma região com características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, ao solo e a vegetação, a região semiárida representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e da água em sistemas agrícolas sustentáveis (Melo Filho & Souza, 2006). A produtividade média das atividades agropecuárias nessa região é muito baixa, chegando a níveis baixíssimos em períodos de seca (Padilha, 2000). Sendo assim, a adoção de práticas que visam a conservação do solo e da água se torna particularmente importante (Santos et al., 2008).

Alguns trabalhos foram realizados no semiárido (Santos et al., 2009; Santos et al., 2008; Albuquerque et al., 2002; Silva et al., 1999) com o objetivo de estudar o efeito da implementação de práticas conservacionistas de solo e água. Albuquerque et al. (2002), estudando perdas de solo e água em parcelas de erosão com 4% de declive, em região semiárida, cultivadas com palma forrageira, verificaram que o cultivo em nível em relação àquele em desnível reduziu as perdas de solo e água em 53,4 e 20%, respectivamente. Santos et al. (2009), em estudos realizados no semiárido pernambucano, sob chuva simulada, verificaram que nos sistemas com adoção da cobertura morta e do cultivo em nível mais barramentos em pedra, a umidade do solo mostrou-se consideravelmente mais elevada em relação à prática do cultivo morro abaixo.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar temporalmente o perfil de umidade em solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície na variação do teor de umidade do solo bem como na produtividade do feijoeiro em regime de sequeiro, além de investigar a variabilidade espacial do conteúdo superficial da água no solo sob as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano.

Utilizando-se diferentes metodologias de medição de umidade, associadas a diferentes escalas temporais, investigou-se a efetividade de tratamentos conservacionistas na manutenção da umidade do solo e na produção em regime de sequeiro.

Previamente à condução dos experimentos, testes de funcionamento e verificações de campo foram conduzidos, merecendo destaque as iniciativas relacionadas à adoção de sondas TDR artesanais, no tocante à estabilidade das medidas e replicabilidade das medições.

Os dois capítulos que se seguem abordam as dinâmicas de umidade utilizando-se: a) medições de umidade com sonda de Nêutrons, com detalhada análise espacial e média discretização temporal (15 dias); b) medições localizadas com sondas TDR, adotando-se detalhada discretização temporal (1 dia).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; NETO, F. L.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.1, p.136-141, 2002.

BEDAIWY, M. Mechanical and hydraulic resistance relations in crust-topped soils. Catena, v.72, p.270–281, 2007.

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. Journal of Hydrology, n.285, p.199-214, 2004.

CAVALCANTI, N.B. Nível tecnológico de pequenos agricultores na região semiárida do Nordeste brasileiro: Um estudo de caso. Revista Ceres, v.42, p.290-296, 1995.

CICHOTTA, R. Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo. Dissertação Mestrado. Universidade de São Paulo. São paulo, 2003. 121p.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COUTO, V. A.; ALVES, A.F.; GUANZIROLI, C.E. A agricultura familiar na região Nordeste [Salvador, BA]: FAO/INCRA, 1996. 53 p.il. Versão preliminar Projeto: UFT/BR/036/BR.

DALMAGO, G.A. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Tese de Doutorado. Universidade do Rio Grande do Sul. 245p. 2004.

GICHERU, P.; GACHENE, C.; MBUVI, J.; MARE, E. Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. *Soil & Tillage Research*, v.75, p.173–184, 2004.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

MEDEIROS, J.D. & CLARKE, J.A.G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.12, n.1, p. 43-52, 2007.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. *Bahia Agrícola*, v.7, n.3, 11p. 2006.

PADILHA, J. A. Base Zero Ano 2000: mudança de paradigma na produção agroambiental nos trópicos secos. In: Pedro Sisnado Leite et al. (orgs.). *Reforma agrária e desenvolvimento sustentável*. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário/NEAD. 2000.

PAN, Y.X; WANG, X.P; JIA, R.L.; CHEN, Y.W.; HE, M.Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. *Journal of Arid Environments*, v.72, p.1975-1983, 2008.

RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Impact of land leveling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, v.321, p.131-146, 2006.

SANTOS, T. E. M. ; MONTENEGRO, A. A. A. ; SILVA JÚNIOR, V. P. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. . Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, p. 29-39, 2008.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; PEDROSA, M.E.R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.13, n.3, p.217–225, 2009.

SILVA, A.B.; RESENDE, M.; SOUSA, A.R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no agreste pernambucano. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, fev. 1999

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America. Proceedings*, Madison, v.33, n.1, p.131-137, 1969.

CAPÍTULO I

RESUMO

SANTOS, T.E.M. **Variabilidade temporal do conteúdo de água no solo, sob diferentes condições de superfície, em região semiárida de Pernambuco.** 2010. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco ⁽¹⁾

Os estudos de conservação estão normalmente voltados para investigações das perdas de água e solo, sem abordar a avaliação da influência da umidade do solo nestes processos, principalmente na região semiárida, caracterizada pela irregularidade na distribuição das chuvas. Com base nesta consideração, este trabalho objetiva avaliar temporalmente o perfil de umidade em solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície na variação do conteúdo de água do solo bem como na produtividade do feijoeiro em regime de sequeiro. Para monitoramento da umidade do solo foram implantadas cinco parcelas experimentais, com 4,5 m de largura por 11 m de comprimento, em Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto. Foram adotados os seguintes tratamentos nas parcelas experimentais: vegetação natural; feijoeiro consorciado com palma forrageira; feijoeiro cultivado morro abaixo; feijoeiro cultivado em nível, com cobertura morta e barramentos em pedras, e solo descoberto. Em cada parcela foram instalados oito tubos de acesso de PVC para determinação do perfil de umidade do solo, nas profundidades de 20 e 40 cm, utilizando sonda de nêutrons. A condição de superfície influenciou expressivamente a variação do teor de umidade do solo tanto no período seco como no chuvoso. Verificou-se, também, que a utilização de cobertura morta, associada ao emprego de barramentos em pedra, proporcionou valores mais elevados de umidade no solo e incrementou a produtividade do cultivo de sequeiro do feijoeiro.

Termos de indexação: perfil de umidade, cobertura do solo, precipitação antecedente.

CHAPTER I

ABSTRACT

SANTOS, T.E.M. **Temporal variability of soil moisture under different surface conditions in the semiarid region of Pernambuco state.** 2010. Tese (Thesis-Doctorate in Soil Science)- Universidade Federal Rural de Pernambuco ⁽¹⁾

Conservation studies are usually focused on investigations of water and soil losses, without addressing the assessment of the influence of soil moisture in these processes, especially in the semiarid region, characterized by an irregular rainfall distribution. Considering such aspects, this work aims to evaluate the temporal profile of soil moisture in the semiarid region of Pernambuco State, in order to investigate the effect of different surface conditions on the soil moisture content variation and yield of rainwater harvested beans. To monitor soil moisture, five plots 4.5 m wide by 11 m long were implanted, in a Yellow Argisol (Ultisol). The following treatments were adopted in the experimental plots: natural vegetation; bean intercropped with cactus, beans planted down the slope; bean planted along contour lines, with mulch cover and rock barriers, and bare soil. In each plot, eight PVC access tubes were installed, for monitoring the soil moisture profile at 20 and 40 cm depths, using a neutron probe device. The surface condition significantly influenced the soil moisture content variation, both in the dry and rainy seasons. The use of mulch, associated with rock barriers, provided higher soil moisture levels than the other treatments and increased the rainwater harvested beans productivity.

Index Terms: moisture profile, soil cover, antecedent rainfall.

INTRODUÇÃO

A região semiárida do Estado de Pernambuco se caracteriza pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, apresentando período de estiagem que ocorre de setembro a fevereiro e período chuvoso de março a agosto, representado por chuvas de alta intensidade e de curta duração. As atividades de agricultura de sequeiro na região se iniciam com as primeiras chuvas do ano, coincidindo com o período de ocorrência de chuvas erosivas. Devido à irregularidade na distribuição das chuvas, a adoção de práticas que visem à conservação do conteúdo de água do solo se torna particularmente importante (Santos et al., 2008).

Muitos trabalhos têm sido publicados sobre a variabilidade espacial de propriedades do solo, como textura, condutividade hidráulica, entre outras, mas muito pouco se sabe sobre a sua variabilidade temporal. Apesar disto, nos últimos anos, tem-se aumentado o interesse pela análise da dinâmica temporal, principalmente da umidade do solo (Rocha et al., 2005).

Dentre as alternativas de conservação de água, o efeito da adoção de cobertura morta tem sido amplamente investigado. Santos et al. (2009) estudando o efeito de práticas conservacionistas na manutenção da umidade do solo em diferentes fase de desenvolvimento da cultura do feijoeiro, verificaram que a umidade antecedente foi significativamente mais alta nos tratamentos que possuíam cobertura morta. Costa et al. (2003) também encontraram valor de umidade maior para sistema de plantio direto, motivado pela menor evaporação do solo nu, decorrente da cobertura do solo por resíduos. Sarkar & Singh (2006) verificaram significativa redução na temperatura do solo e aumento na produtividade com adoção de coberturas mortas de alta espessura, enquanto Cook et al. (2006) constataram a importância da cobertura morta na interceptação de chuvas intensas e na manutenção das características hidráulicas dos solos. Chen et al. (2007), estudando o efeito de diferentes vegetações na dinâmica sazonal da umidade do solo, em região semiárida da China, verificaram que a parcela que estava coberta por uma espécie nativa da região apresentou os maiores valores médios de umidade do solo.

Outra técnica que vem sendo utilizada com a finalidade de conservação de água e solo, especialmente no semiárido brasileiro, é o emprego de microbarramentos em pedra, como forma de contenção do escoamento superficial. Tais dispositivos

contribuem para a manutenção da umidade do solo na zona semiárida, conservando os solos e proporcionando o cultivo agrícola em épocas de seca (Padilha, 2000).

O emprego da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), que é utilizada na região semiárida tanto para consumo humano como animal, também vem sendo utilizada em práticas conservacionistas, como os terraços em nível, onde é cultivada nos camalhões para maior fixação dos mesmos, incrementando a infiltração. Apesar da vasta área cultivada com palma no semiárido brasileiro, quase não há dados sobre sua eficiência na contenção do escoamento superficial nesta região (Galindo et al., 2005).

O feijoeiro é outra cultura de sequeiro bastante cultivada na região semiárida, constituindo-se numa das principais fontes de proteína para as famílias do semiárido, sendo explorado em uma diversidade de sistemas de produção (Farinelli et al., 2006).

Os estudos de conservação estão normalmente voltados para investigações das perdas de água e solo, existindo uma carência de pesquisas direcionadas para a avaliação da influência da umidade do solo nestes processos, principalmente na região semiárida.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva avaliar temporalmente o conteúdo de água do solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície, bem como na produtividade do feijoeiro em regime de sequeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo:

O estudo foi desenvolvido no Município de Pesqueira-PE, na Bacia Representativa do Alto Ipanema, com área de 183 km², localizada na Região Agreste do Estado de Pernambuco, entre 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste (Figura 1). O clima é semi-árido muito quente tipo Estepe, segundo Köeppen, a precipitação média anual é de 607 mm, a temperatura média é de 23⁰C e a evapotranspiração potencial é de cerca de 2.000 mm por ano. A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila (Montenegro & Montenegro, 2006).

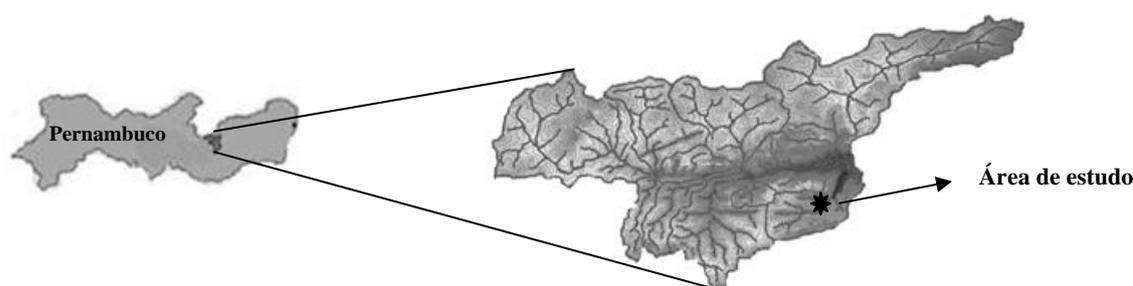


Figura 1. Localização da área de estudo, Pesqueira-PE.

Descrição do experimento:

O experimento foi conduzido em uma encosta da bacia representativa, com declividade de 5%. O solo da área foi classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

As análises físicas (Quadro 01) foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da UFRPE, segundo os métodos recomendados pela EMBRAPA (1997). As análises incluíram as determinações de granulometria, argila dispersa em água, densidade das partículas e densidade do solo.

Quadro 01. Características físicas do solo estudado na área experimental

Profundidade (cm)	Horizonte	Areia	Argila	Silte	ADA (%)	Dp ---Kg dm ⁻³ ---	Ds
		-----g Kg ⁻¹ -----					
0 - 12	Ap	448,5	231,5	320,0	11,20	2,64	1,48
13 - 27	A1	441,9	264,8	293,3	11,20	2,72	1,51
27 - 46	A2	315,2	324,8	360,0	15,20	2,64	1,45
46 - 69	AB	288,5	338,1	373,3	15,20	2,67	1,68
69 - 86	Bt	152,0	691,5	293,3	32,87	2,66	1,88

Dp- densidade das partículas; Ds- densidade do solo; ADA- argila dispersa em água.

Foram implantadas cinco parcelas com 4,5 m de largura por 11 m de comprimento, sendo delimitadas por alvenaria (Figura 2). As parcelas estavam dispostas lado a lado, com distância de 0,50 m entre as mesmas. Em cada parcela foram instalados oito tubos de acesso de PVC, distanciados de 2 m, para determinação do conteúdo de água do solo nas profundidades de 20 e 40 cm. Devido à profundidade da camada de impedimento no perfil, os tubos de acesso foram instalados até a profundidade de 50 cm. O monitoramento da umidade do solo foi realizado durante os meses de fevereiro a outubro de 2009, quinzenalmente, utilizando para isso sonda de nêutrons, modelo CPN 503 DR.



Figura 2. Detalhe das parcelas experimentais instaladas em campo. FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; SD- solo descoberto; VN- vegetação natural; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta.

Foram adotados os seguintes tratamentos nas parcelas experimentais: vegetação natural (VN), que são constituídas pela vegetação caatinga em regeneração; feijoeiro consorciado com palma forrageira (FP), cultivada no espaçamento de 0,25 x 0,5 x 3,0 m, de modo a formar barreiras para contenção do escoamento superficial; feijoeiro cultivado morro abaixo (FMA); feijoeiro cultivado em curvas nível, com cobertura morta e presença de barramentos em pedras entre as fileiras de plantio (FN+BP+CM), com aproximadamente 8 cm de altura e 10 cm de largura, com distância entre os barramentos de 1 m; e solo descoberto (SD). Cultivou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no período de 20 abril a 7 de julho, no espaçamento 0,5 x 0,25 m. A cobertura morta aplicada foi palha de feijão com uma densidade de 3,2 Mg ha⁻¹.

A porcentagem de cobertura do solo foi determinada no mesmo período do monitoramento da umidade por meio do método de Mannering, de larga aplicação (Santos et al., 2008; Bezerra & Cantalice, 2006; Bertol, 2005; Rizzard & Fleck, 2004), que utiliza a projeção fotográfica de uma moldura com a cobertura da área (Figura 3) sobre um quadro padrão (Figura 4). Com a soma da contagem das interseções com os

pontos de cobertura da superfície (copa/resíduo) projetados, tem-se a porcentagem total de cobertura do solo, sendo que cada ponto de interseção representa 2% da área total. Neste caso as projeções fotográficas representam média de três fotografias.



Figura 3. Representação da cobertura vegetal nos tratamentos: (a) feijão em nível + cobertura morta, (b) feijão em nível + microbarramentos, (c) feijão sob a condição morro abaixo, (d) solo descoberto.

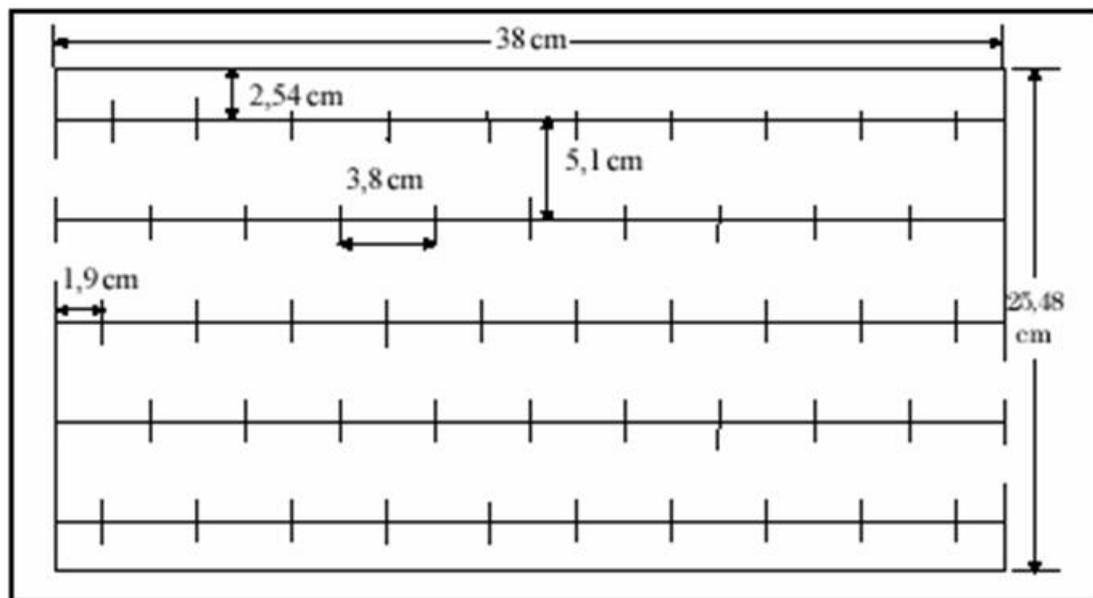


Figura 4. Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra, 2006.

Nos tratamentos FP, FMA e FN+BP+CM foi realizada análise de produtividade do feijoeiro, sendo coletadas as vagens referentes a quatro fileiras de plantio das partes superior, média e inferior de cada parcela experimental onde o feijoeiro foi cultivado, equivalendo à área total de 20,25 m². Os grãos foram separados e pesados, extrapolando-se os dados para um hectare. Os dados foram analisados pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Próximo à área experimental foi instalado um pluviógrafo automático, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific, com resolução de 0,254 mm. O aparelho é dotado de um datalogger, programado para registrar a cada 5 minutos durante o evento de chuva. Os dados de precipitação foram agrupados para os períodos de 7 e 15 dias antecedentes às leituras de umidade com a sonda de nêutrons, com a finalidade de se investigar a relação entre as variações de umidade e a precipitação antecedente.

Para a determinação das curvas de retenção de água foram coletadas amostras com estrutura preservada, em anéis metálicos, em três repetições, nas profundidades de leituras da umidade, sendo utilizada a câmara de pressão de Richards (Richards, 1965), pertencente ao laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. As umidades do solo, na base de volume, foram obtidas para os potenciais matriciais de -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa. As curvas de retenção foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (Eq. 1) (1980), utilizando o “software” Statística 6.0 (STATSOFT, 2001), apresentando coeficiente de determinação de 0,97 e 0,98 para as profundidades de 20 e 40 cm, respectivamente. Na Figura 5 são apresentadas as curvas de retenção obtidas.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

em que θ_v (cm³ cm⁻³) é a umidade volumétrica, ψ_m é o potencial matricial da água no solo (kPa), θ_r (cm³ cm⁻³) é a umidade residual, θ_s (cm³ cm⁻³) é a umidade de saturação, α (kPa⁻¹), m e n são parâmetros empíricos, sendo n dependente de m e θ_r e θ_s calculados pelo método de extrapolação.

O cálculo de umidade do solo correspondente a cada tensão matricial na câmara de Richards, no intervalo de aproximadamente de 24 h, foi determinada com base no método proposto pela EMBRAPA (1997).

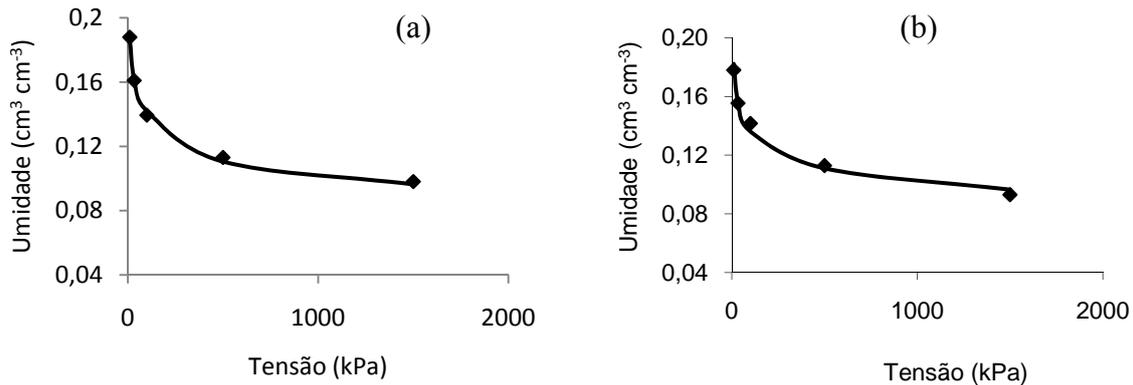


Figura 5. Curvas de retenção para o Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, nas profundidades de 20 (a) e 40 (b) cm.

Calibração da sonda de nêutrons:

Os dados das leituras da sonda de nêutrons foram transformados em umidade volumétrica, com base em curvas de calibração previamente estabelecidas para o solo da área experimental.

Para calibração foram utilizados três tubos de PVC, de 50 mm de diâmetro, espaçados de 2 m, instalados com 1m de profundidade no solo, onde as leituras foram realizadas nas profundidades de 20 cm (Figura 6) e de 40 cm (Figura 7). Os tubos de acesso permitiram utilizar dois níveis de umidade para calibração, um úmido e outro seco.

Foram realizadas um total de 21 coletas, para determinar a umidade gravimétrica, nas mesmas profundidades de leitura com o equipamento. As coletas também foram realizadas a 15 cm de distância do tubo de acesso.

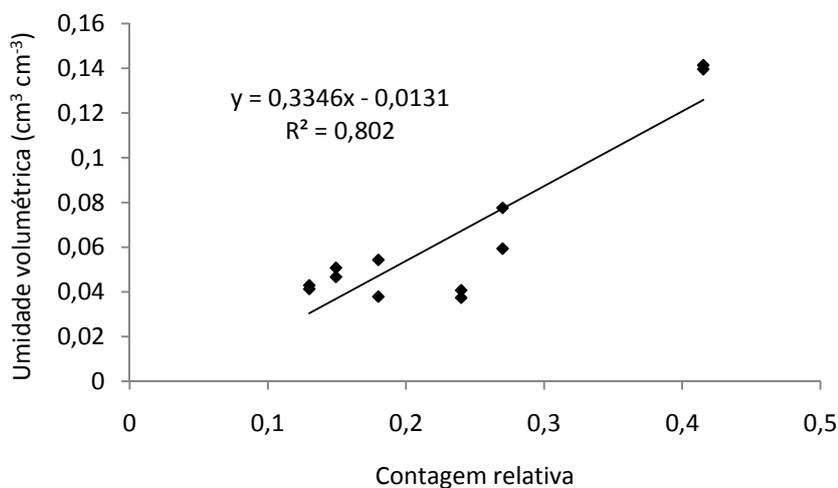


Figura 6. Equação de calibração da sonda de nêutrons para a profundidade de 20 cm.

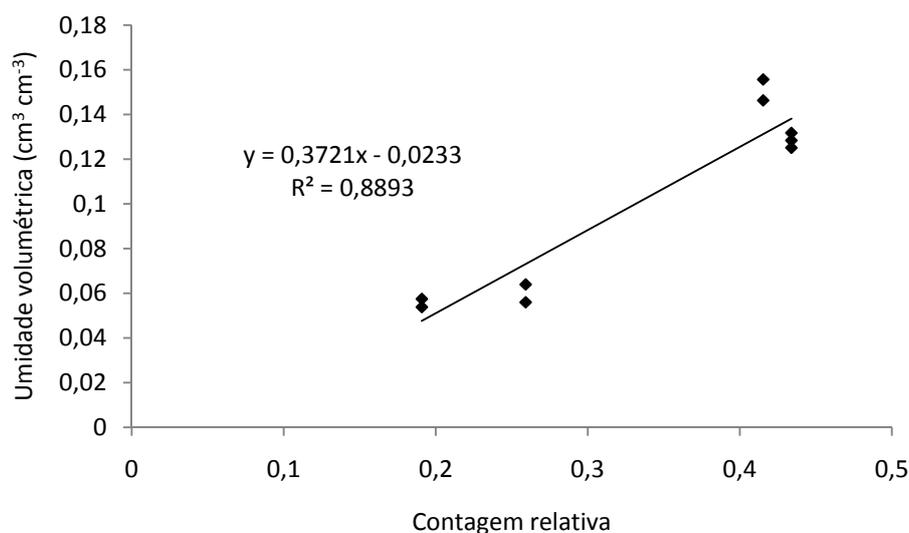


Figura 7. Equação de calibração da sonda de nêutrons para a profundidade de 40 cm.

Análise estatística:

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, onde os dados foram submetidos à análise de variância, e para comparação entre as médias dos tratamentos adotou-se o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. O pacote estatístico utilizado foi o SAS – Statistical Analytical System (SAS, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 apresenta dados históricos do comportamento médio mensal da temperatura e da precipitação no município de Pesqueira para os anos de 1961 e 2007. Verifica-se que a temperatura média anual fica em torno de 22,8°C, sendo o mês de julho o mais frio, com temperatura média em torno de 20,4°C e dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais quentes, com valores médios em torno de 24,3°C.

No período analisado a precipitação se concentrou nos meses de março a julho, representando 65% do total médio anual.

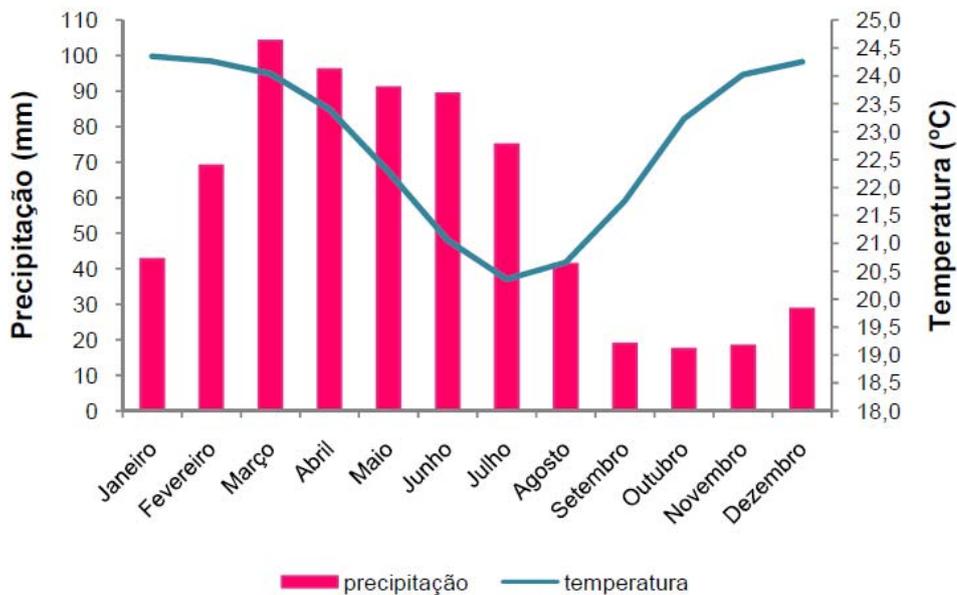


Figura 8. Climograma para Pesqueira (PE) entre 1961 e 2007. Fonte: Silva et al. (2008).

A Figura 9 abaixo apresenta as distribuições percentuais dos dados de erosividade e precipitação para os anos de 2004, 2005 e 2009. Observa-se uma tendência de maior potencial erosivo das chuvas nos meses de Janeiro a Junho, enquanto que nos demais meses a erosividade das chuvas chega a zero, indicando que no primeiro semestre os riscos de erosão são maiores.

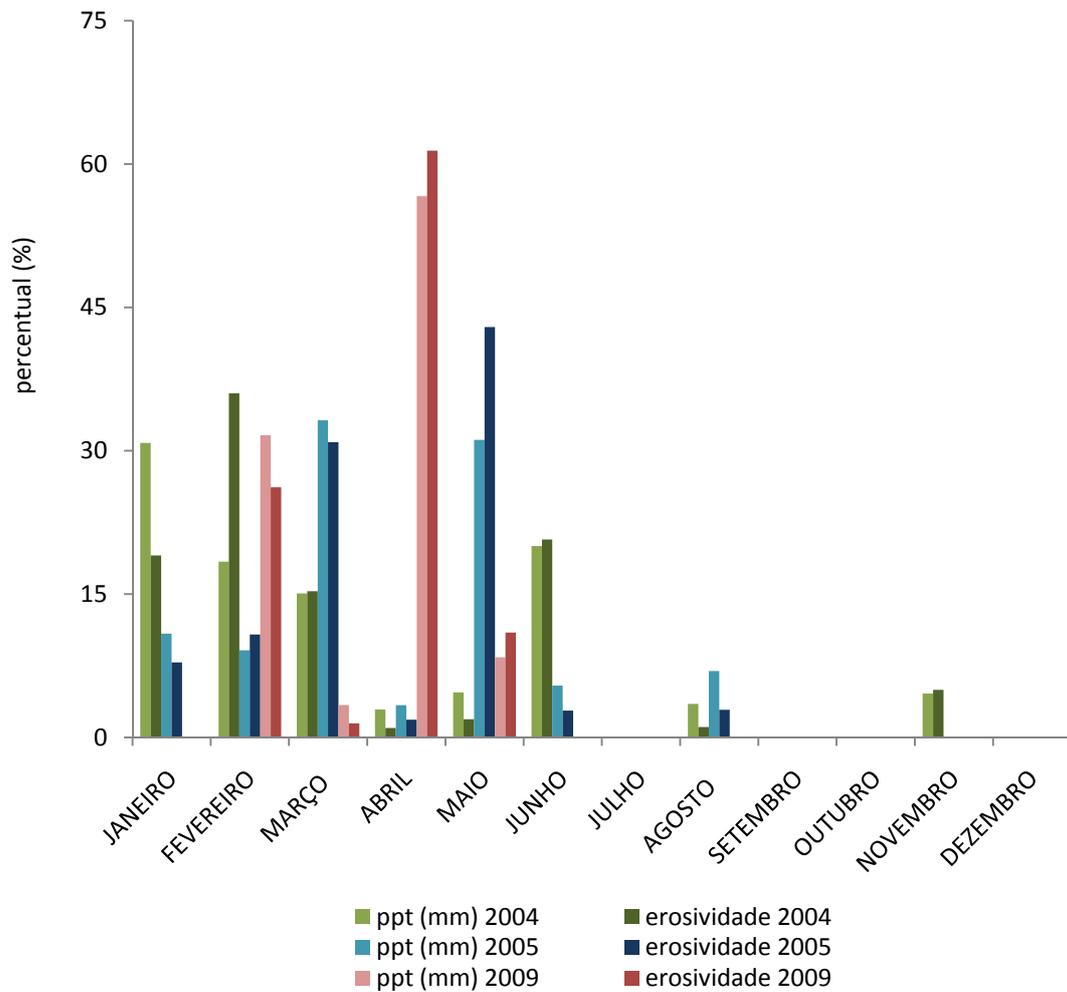


Figura 9. Distribuição percentual das precipitações e erosividades mensais, para a Bacia do Alto Ipanema, nos anos de 2004, 2005 e 2009. Fonte: Santos et al. (2009).

Na Figura 10 encontra-se a distribuição temporal da precipitação ocorrida durante os meses de janeiro a outubro/2009. A lâmina total precipitada neste período foi de 802,43 mm, sendo os meses de maiores índices pluviométricos abril, maio e agosto; enquanto que março e setembro apresentaram os menores totais precipitados.

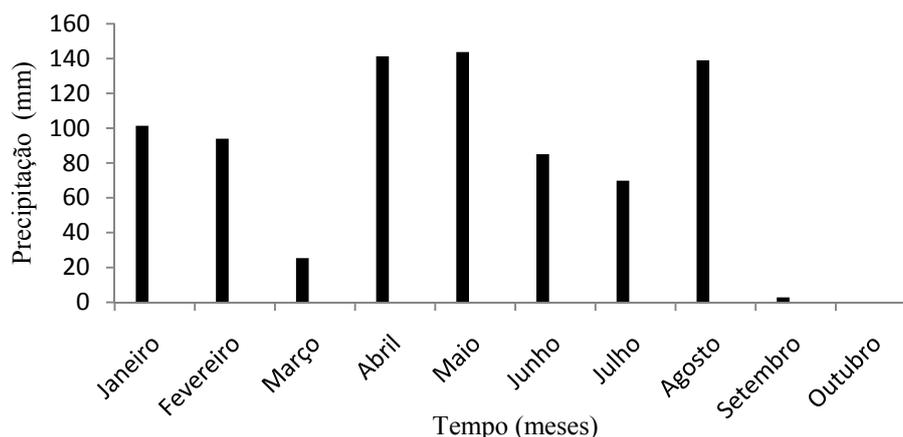


Figura 10. Distribuição temporal da precipitação ocorrida na área experimental, no período de janeiro a outubro/2009.

As distribuições temporais da umidade do solo na camada de 0-20 cm nas diferentes condições de superfície do solo estão apresentadas na Figura 11. Já no Quadro 2 é apresentada a análise estatística dos valores médios de umidade nos diferentes tratamentos assim como a precipitação antecedente. Verifica-se que no início das medições de umidade o solo apresentava-se com teor de umidade inferior à umidade de ponto de murcha permanente ($0,98 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) em todos os tratamentos, com exceção do tratamento FN+BP+CM, cuja umidade estava um pouco superior, diferindo estatisticamente da condição de solo descoberto (SD) e de solo sob cobertura de vegetação natural (VN).

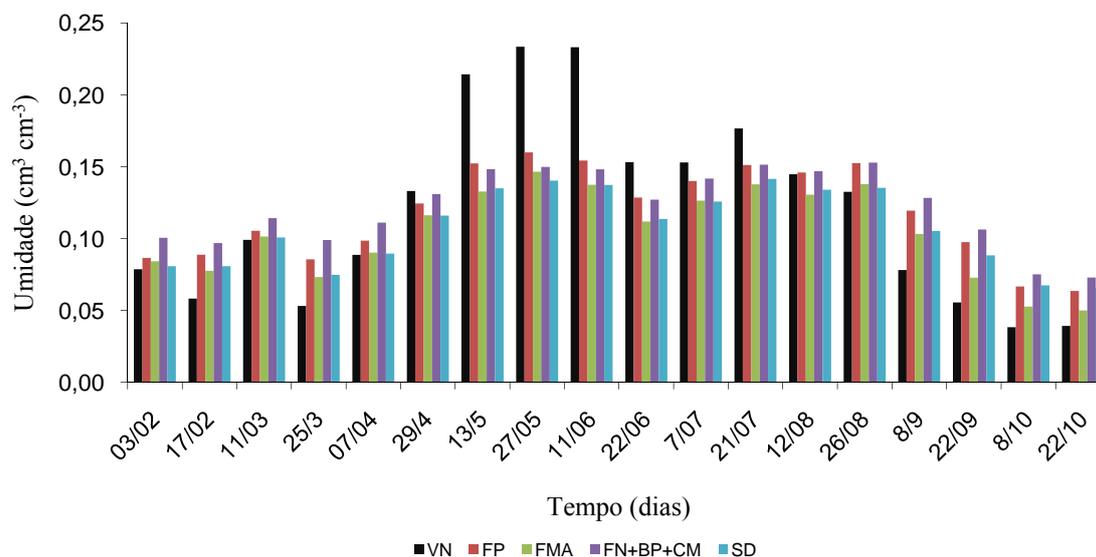


Figura 11. Distribuição temporal do conteúdo médio de água no solo na camada de 20 cm no Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico sob diferentes condições de superfície do solo. VN- vegetação natural; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta e SD- solo descoberto.

Ainda no Quadro 2 observa-se que na semana antecedente ao monitoramento do dia 17/02 precipitou 18,8 mm. Este evento ocorreu no dia 13/02 durante uma hora e 30 minutos, não sendo efetivo para aumentar o potencial de água no solo, visto que o déficit de umidade era muito expressivo e o solo permaneceu em condições de umidade abaixo do ponto de murcha permanente, para todos os tratamentos, sendo que o tratamento VN apresentou a menor umidade, provavelmente em decorrência da maior evapotranspiração nesta condição de superfície.

Quadro 2. Valores médios do conteúdo de água do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, sob diferentes condições de superfície em diferentes períodos de monitoramento, para a profundidade de 20 cm e precipitação antecedente (ocorrida 15 e 7 dias antes do monitoramento de umidade)

Data	Umidade média (cm ³ cm ⁻³)					Precipitação antecedente (mm)	
	VN	FP	FMA	FN+BP+CM	SD	15 dias	7 dias
03/02	0,079 b ⁽¹⁾	0,087 ab	0,085 ab	0,1 a	0,082 b	91,9	2,3
17/02	0,058 b	0,088 a	0,078 ab	0,095 a	0,080 ab	19,0	18,8
12/03	0,099 a	0,105 a	0,102 a	0,114 a	0,101 a	37,5	1,7
25/03	0,053 c	0,085 ab	0,073 b	0,098 a	0,073 b	2,0	0,0
08/04	0,089 e	0,099 b	0,091 c	0,109 a	0,090 d	42,4	42,0
29/04	0,133 a	0,123 ab	0,115 b	0,129 ab	0,116 ab	62,1	11,6
13/05	0,214 a	0,152 b	0,136 b	0,148 b	0,135 b	105,4	49,7
27/05	0,234 a	0,165 b	0,156 b	0,149 b	0,140 b	13,7	0,25
11/06	0,233 a	0,156 b	0,144 b	0,147 b	0,139 b	61,9	35,0
22/06	0,153 a	0,128 b	0,113 b	0,125 b	0,115 b	52,0	7,3
07/07	0,153 a	0,139 ab	0,126 b	0,140 ab	0,125 b	28,4	4,5
21/07	0,177 a	0,150 b	0,137 b	0,150 b	0,141 b	43,9	36,7
12/08	0,144 a	0,145 a	0,130 a	0,144 a	0,134 a	73,1	58,9
26/08	0,132 b	0,152 a	0,136 ab	0,151 ab	0,135 ab	58,4	53,0
08/09	0,078 c	0,119 ab	0,100 bc	0,124 a	0,105 ab	27,9	0,2
22/09	0,055 c	0,097 a	0,071 bc	0,102 a	0,088 c	2,5	0
08/10	0,039 c	0,066 ab	0,051 bc	0,071 a	0,066 ab	0	0
22/10	0,040 c	0,062 ab	0,048 bc	0,068 a	0,063 ab	0	0

⁽¹⁾Médias seguidas de letras minúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. VN- vegetação natural; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta e SD- solo descoberto.

No Quadro 3 apresentam-se os dados de índice de cobertura do solo nos diferentes tratamentos, observando-se que este índice corresponde a 100% para o tratamento VN, fato que pode explicar a menor umidade encontrada para este tratamento no período de 17/02, devido à transpiração das plantas. De acordo com Ampofó (2006), a perda de umidade do solo através da evapotranspiração representa 30% do total da perda de precipitação no semiárido. Buscou-se encontrar um ajuste entre o conteúdo de água no

solo e o índice de cobertura vegetal, onde não se verificou nenhum modelo que se ajustasse aos dados.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mello et al. (2007) que, estudando diferentes cenários de ocupação de uma bacia hidrográfica, na região de Lavras-MG, verificaram redução da umidade do solo em decorrência de veranico combinado com aumento da área ocupada por eucalipto.

Quadro 3. Índice de cobertura do solo (%) para os tratamentos analisados durante o período de monitoramento da umidade do solo

Data	VN	FP	FMA	FN+BP+CM	SD
03/02	100	20	0	12	0
17/02	100	22	0	10	0
11/03	100	24	0	11	0
25/03	100	25	0	12	0
07/04	100	25	0	12	0
29/04	100	30	10	32	0
13/05	100	60	29	95	0
27/05	100	80	50	100	0
11/06	100	79	69	100	0
22/06	100	75	55	100	0
07/07	100	80	60	100	0
21/07	100	37	37	35	0
12/08	100	29	4	32	0
26/08	100	35	15	29	0
08/09	100	24	45,3	31	3,5
22/09	100	46	28	29,5	2,5
08/10	98	28	37	21	1,5
22/10	99,5	44,5	25,5	34,5	0,5

VN- vegetação natural; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta e SD- solo descoberto.

No monitoramento de 12/03, com a precipitação antecedente de 15 dias de 37,59 mm, ocorreu uma elevação da umidade do solo em todos os tratamentos, os quais não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade nos valores médios de umidade. Já em 25/03, com aproximadamente 20 dias sem ocorrência de precipitação antecedente, houve redução de 46; 19; 14; 28 e 28% no valor de umidade do solo para as condições VN, FP, FN+BP+CM, FMA e SD, respectivamente. O solo retorna a valores de umidade inferiores ao ponto de murcha permanente e o tratamento VN foi o de menor umidade, diferindo estatisticamente dos demais, bem como o de maior percentual de redução deste parâmetro, em decorrência da maior evapotranspiração.

Observando-se o Quadro 2, verifica-se que as plantas da região semiárida permanecem sob umidade abaixo do ponto de murcha permanente teórico durante pelo

menos seis meses, e apresentam recuperação do turgor logo após as primeiras chuvas. Cassel & Nielsen (1986) relatam que a camada mais superficial pode secar, atingindo umidades menores do que a do ponto de murcha permanente, devido à evapotranspiração, enquanto as raízes localizadas a profundidades maiores podem estar ativas na absorção de água. Este fato pode ser confirmado ao se observar o Quadro 4, que apresenta valores de umidade para a camada de 40 cm próximos à umidade correspondente à capacidade de campo (15,53%).

Quadro 4. Valores médios do conteúdo de água no Argissolo amarelo Eutrófico abrupto, sob diferentes condições de superfície em diferentes períodos de monitoramento, para a profundidade de 40 cm

Data	Umidade média (cm ³ cm ⁻³)					Precipitação antecedente (mm)	
	VN	FP	FMA	FN+BP+CM	SD	15 dias	7 dias
03/fev	0,158 a ⁽¹⁾	0,136 a	0,139 a	0,161 a	0,132 a	91,9	2,3
17/fev	0,108 b	0,126 ab	0,131 ab	0,162 a	0,135 ab	19	18,8
12/mar	0,168 a	0,164 a	0,161 a	0,176 a	0,160 a	37,5	1,7
25/mar	0,101 b	0,143 ab	0,141 ab	0,167 a	0,142 ab	2	0
08/abr	0,131 a	0,146 a	0,143 a	0,168 a	0,137 a	42,4	42
29/abr	0,203 a	0,183 a	0,175 a	0,191 a	0,178 a	62,1	11,6
13/mai	0,271 a	0,206 a	0,206 a	0,213 a	0,190 a	105,4	49,7
27/mai	0,287 a	0,256 a	0,245 a	0,234 a	0,235 a	13,7	0,25
11/jun	0,339 a	0,231 b	0,215 b	0,213 b	0,205 b	61,9	35
22/jun	0,234 a	0,189 a	0,177 a	0,195 a	0,189 a	52	7,3
07/jul	0,228 a	0,198 a	0,186 a	0,204 a	0,191 a	28,4	4,5
21/jul	0,255 a	0,213 ab	0,180 b	0,211 ab	0,199 ab	43,9	36,7
12/ago	0,211 a	0,198 a	0,189 a	0,207 a	0,195 a	73,1	58,9
26/ago	0,182 a	0,199 a	0,184 a	0,210 a	0,188 a	58,4	53
08/set	0,142 a	0,175 a	0,166 a	0,189 a	0,166 a	27,9	0,2
22/set	0,101 b	0,150 ab	0,131 ab	0,167 a	0,144 ab	2,5	0
08/out	0,086 b	0,129 ab	0,110 ab	0,141 a	0,128 ab	0	0
22/out	0,088 b	0,125 ab	0,125 b	0,141 a	0,126 ab	0	0

⁽¹⁾Médias seguidas de letras minúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. VN- vegetação natural; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira; FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo; FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta e SD- solo descoberto.

Verifica-se no Quadro 2 que a precipitação de 42,4 mm, distribuída nos sete dias antecedentes ao monitoramento do dia 08/04, ocasionou aumento de umidade do solo para todas as condições. Apesar do tratamento VN permanecer com o menor teor de umidade, na camada de 20 cm, este tratamento é o que apresenta o maior incremento de umidade na profundidade de 40 cm (Quadro 4). Evidencia-se, assim, a eficiência da cobertura vegetal no processo de infiltração de água no perfil, funcionando como uma barreira ao livre escoamento da água devido ao aumento da rugosidade superficial.

Nos quinze dias posteriores, precipitou uma lâmina de 62,15 mm. Como as chuvas foram melhores distribuídas neste período, ou seja, tiveram uma frequência

maior, o solo apresentou aumento de umidade para todos os tratamentos, sendo que o menor valor de umidade ocorreu no tratamento FMA, estatisticamente diferente dos demais ao nível de 5% de probabilidade.

Em maio ocorreu a maior lâmina precipitada no período de observação, igual a 105,4 mm, o que gerou aumentos significativos de umidade para as parcelas em observação. O tratamento VN manteve valor de umidade significativamente superior às demais parcelas durante os meses de maio a julho. Wagner Junior et al. (2006) avaliando a influência de quatro métodos de manejo da cobertura vegetal do solo sobre a umidade do solo e crescimento do porta-enxerto de pessegueiro 'Okinawa', encontraram que a umidade do solo foi maior no tratamento com permanência da vegetação espontânea nas linhas e entrelinhas do plantio, demonstrando que a permanência da cobertura do solo com vegetação espontânea possibilitou maior capacidade de conservação da umidade do solo, atuando de forma protetora na perda de água do solo em relação aos demais tratamentos.

No monitoramento de 12/08, apesar da precipitação com antecedência de sete dias ser de 58,9 mm, houve redução da umidade do solo, uma vez que os registros pluviográficos demonstram que, apesar da expressiva lâmina precipitada, quatro dias antes do monitoramento não ocorreu precipitação, fato este decisivo no aumento no déficit de umidade do solo.

Com o fim do período chuvoso há tendência de redução nos valores de umidade do solo, e mais uma vez pode-se observar o efeito da evapotranspiração na condição VN, que apresenta valores de umidade significativamente inferiores, tanto na camada de 20 (Quadro 2) quanto na de 40 cm (Quadro 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Ampofo (2006), estudando diferentes tipos de cobertura do solo na manutenção da umidade, na região de Ghana. Este autor relata que a camada de solo sub-superficial sob cobertura vegetal possui menor capacidade de retenção de umidade, requerendo maior demanda de umidade das camadas mais profundas para cumprir com as demandas de evaporação da atmosfera e de transpiração das plantas, o que não ocorre em solo descoberto.

Durante o processo de secagem do solo, comparando-se os tratamentos FP e FN+BP+CM com cobertura morta ($3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e o tratamento onde não se adotou esta prática (FMA), observa-se a manutenção da umidade do solo no final do período chuvoso no tratamento FN+BP+CM, que se diferenciou estatisticamente do tratamento FMA. Após 45 dias sem ocorrência de precipitação pluviométrica, a parcela com

barramento apresentou perda de 45% de umidade, enquanto que para FMA esta perda foi de 52%.

Costa et al. (2003) também encontraram valor de umidade maior nos sistemas em que se adotou práticas de conservação de água e solo, o que atribuíram à menor evaporação, decorrente da cobertura do solo por resíduos. Mulumba & Lal (2008), estudando o efeito de diferentes densidades de cobertura morta de trigo na umidade do solo, na região de Ohio, verificaram o incremento significativo desta variável com a adoção de 2 Mg ha⁻¹ de cobertura.

No Quadro 5 são apresentados os valores de produtividade do feijoeiro cultivado, no qual observa-se o efeito positivo do emprego das práticas conservacionistas nas produtividades dos tratamentos, uma vez que FN+BP+CM apresentou produtividade estatisticamente superior às demais formas de cultivo, provavelmente decorrente da utilização da cobertura morta. O cultivo morro abaixo (FMA) apresentou reduções de 61,2 e 39,3% na produtividade em relação ao tratamento FN+BP+CM e FP, respectivamente. Os valores de produtividade do feijoeiro nos tratamentos FN+BP+CM e FP encontram-se superiores à média nacional, considerando-se a safra 2006/2007, que foi de, aproximadamente, 1.100 kg ha⁻¹ (Yamaguishi, 2008).

Quadro 5. Produtividade do feijoeiro nos diferentes tipos de tratamentos

Tratamento	Produtividade (kg ha⁻¹)
FN+BP+CM	1782 a
FP	1140 b
FMA	692 c

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. FN+BP+CM- feijoeiro cultivado em nível com barramento em pedra e cobertura morta; FP- feijoeiro consorciado com palma forrageira e FMA- feijoeiro cultivado morro abaixo.

CONCLUSÕES

1. A condição de superfície influenciou expressivamente a variação do teor de umidade do solo tanto no período seco como no chuvoso.
2. A presença de vegetação natural proporcionou a manutenção de maiores valores de umidade no solo em relação aos demais tratamentos, durante todo o período chuvoso.
3. O efeito da evapotranspiração nos tratamentos com cobertura vegetal foi evidenciado de maneira expressiva no período seco.
4. A utilização de cobertura morta, associada ao emprego de barramentos em pedra, proporcionou manutenção de elevados valores de umidade no solo e incrementou a produtividade do cultivo de sequeiro do feijoeiro.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FACEPE e FINEP pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- AMPOFO, E.A. Soil moisture dynamics in Coastal Savanna soils in the tropics under different soil management practices. *Hyd. Sci.*, 51: 1194-1202, 2006.
- BERTOL, O.J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2005. 209p.
- BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob o cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.4, p.565-573, 2006.
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: Klute, A., ed. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2. ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1986. p.901-926.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 527-535, 2003.
- COOK, H.F.; VALDES, G.S.B, LEE, H.C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil Till. Res.*, 91: p.227-235, 2006.
- 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, China. *Cat.*, 70: 200–208, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B.; PENARIOL, F. G. EGÉA, M. M.; GASPAROTO, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. *Pesq. Agr. Bras.*, 41: 307-312, 2006.
- GALINDO, I.C.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Uso da palma na conservação dos solos. In: MENEZES, R.S.C. SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B., eds. *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 1.ed. Recife, Universitária, 2005, 163-176p.

- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. R. Bras. Eng. Agr. Amb., 11: 410-419, 2007.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. R. Bras. Eng. Agr. Amb., 10: 30-37, 2006.
- MULUMBA, L.N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. Soil Till. Res., 98:106-111, 2008.
- PADILHA, J. A. Base zero ano 2000: mudança de paradigma na produção agroambiental nos trópicos secos. In: LEITE, P. S. L.; PEIXOTO, A. B.; MAGALHÃES, A. R.; MIRANDA, C.; TEÓFILO, E.; AMSBERG, J. VON; SANT'ANNA, S., eds. Reforma agrária e desenvolvimento sustentável. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário/ NEAD, 2000. p.239-309.
- RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Am. Soc. Agr., p.128-152. 1965.
- RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G. Métodos de quantificação da cobertura foliar da infestação de plantas daninhas e da cultura de soja. Ciência Rural, v.34, n.1, p.13-18, 2004.
- ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; CRUZ, A.C.R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. R. Bras. Ci. Solo, 29:41-50, 2005.
- SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. ; SILVA, J. R. L.; MATTOS, I. P. Efeito das condições de superfície na erosão e umidade do solo. In: XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2009, Campo Grande. anais do XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2009.
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA JUNIOR, V.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L. erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. R. Bras. Rec. Híd., 13:29-34, 2008.
- SARKAR, S., SINGH, S.R. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordium vulgare* L.). Soil Till., 92:79-86. 2007.
- SAS. The SAS System for windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary: 1998. CD-ROM.
- SILVA, A.N.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, G.B.A. Efeito das mudanças climáticas no armazenamento de água em diferentes solos do agreste pernambucano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 9. 2008. Anais. Salvador, ABRH, 2008. CD-ROM.
- STATSOFT. Statistica: data analysis software system; version 6. [S. L.], 2001.

Van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, 44:892-898, 1980.

WAGNER JUNIOR, A.; PIMENTEL, L.D.; MORGADO, M.A.D.O.; SILVA, J.O.C.; SOUZA, C.M.; BRUCKNER, C.H. Influência do manejo da cobertura vegetal sobre a umidade Do solo e crescimento do porta-enxerto de pessegueiro 'Okinawa'. *R. Bras. Agric.*, 12:99-103, 2006.

YAMAGUISHI, C.T. Processo biotecnológico para a produção de feijão desidratado com baixo teor de oligossacarídeos da Família Rafinose. Curitiba, PR, Universidade Federal do Paraná, 2008, 148p. (Dissertação de Mestrado).

CAPÍTULO II

RESUMO

SANTOS, T.E.M. **Estudo do comportamento da umidade do solo no semiárido pernambucano com uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR)**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco ⁽¹⁾

A umidade do solo é a variável chave que define e que integra todas as componentes do balanço hídrico da superfície. Em condições extremas de seca, a água é o principal fator que influencia as mudanças ambientais. Em regiões áridas e semiáridas, a dinâmica da vegetação depende fortemente da disponibilidade de água no solo, a qual resulta de um complexo número de interações mútuas de processos hidrológicos. Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a variabilidade espacial e temporal do conteúdo superficial da água no solo, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR), sob as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano, estudando esta dinâmica sob diferentes tipos de cobertura superficial do solo. O estudo foi realizado em duas encostas de uma bacia representativa do semiárido pernambucano, cujos solos eram Argissolo Amarelo Eutrófico típico e Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, onde foram instaladas quatro parcelas experimentais em cada encosta, dotadas de duas sondas TDR para investigação da umidade do solo, bem como de sistema para monitoramento do volume escoado. Os tratamentos adotados foram: cobertura natural (CN), solo descoberto (SD), palma forrageira (P) e barramentos associado à cobertura morta (B+CM). A partir dos resultados verificou-se que a umidade do solo durante o período experimental apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo. A cobertura morta apresentou ser a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo, na encosta localizada sob Argissolo Amarelo Eutrófico típico, enquanto que a palma forrageira foi a prática mais indicada para conservação da água em Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

Termos de indexação: umidade do solo, precipitação, semiárido, condições de superfície.

⁽¹⁾Comitê orientador: Abelardo A. A. Montenegro- UFRPE (Orientador)

CHAPTER II

ABSTRACT

SANTOS, T.E.M. **Soil moisture behavior study in Pernambuco semiarid using a Time Domain Reflectometry (TDR)**. 2010. Tese (Thesis-Doctorate in Soil Science)-Universidade Federal Rural de Pernambuco ⁽¹⁾

Soil moisture is the key variable that defines and integrates all components of the surface energy balance. Under extreme drought conditions, water is the main factor influencing environmental change. In arid and semi-arid, the vegetation dynamics strongly depends on the availability of soil water, which results from a number of complex mutual interactions of hydrological processes. The objective of this study is to investigate the spatial and temporal variability of surface water content in soil by time domain reflectometry (TDR), under the precipitation characteristics of the semiarid Pernambuco, studying these dynamics under different cover the soil surface. The study was conducted in two slopes of a semiarid basin Representative of Pernambuco, wich soil type were Typic Hapludalf soil and Ultisol abruptic, where four experimental plots were installed on each side provided with two TDR probes for investigation of soil moisture as well as monitoring the runoff volume. Treatments were natural cover (LU), bare soil (SD), cactus (P) and microdams associated with mulch (B + CM). From the results it was found that soil moisture observed during the experimental period showed high variability in time, related to different types of coverage and soil properties. Mulching had been more appropriate conservation practice to maintain soil moisture, the slope located under Typic Hapludalf soil, while the cactus is the practice most recommended for water conservation in Ultisol abruptic.

Index Terms: soil moisture, precipitation, semiarid, surface conditions

⁽¹⁾Guidance Committee: Abelardo A. A. Montenegro- UFRPE (Adviser)

INTRODUÇÃO

Em condições extremas de seca, a água é o principal fator que influencia as mudanças ambientais. O conteúdo de água do solo limita o número e o tamanho das espécies de plantas perenes em áreas áridas (Pan et al. 2008). A dinâmica da água no solo é, portanto, de grande importância para a vegetação. De acordo com Chen et al. (2007), a dinâmica de água no solo é afetada por uma série de fatores, tais como, topografia, propriedades físicas do solo, cobertura vegetal, precipitação, e condições meteorológicas. Na agricultura familiar de sequeiro do semiárido pernambucano, a única fonte de água é a precipitação natural. Assim, o manejo do solo é o fator decisivo para viabilizar este tipo de agricultura e para a possibilidade de recuperação de terras degradadas.

Os solos do semiárido apresentam elevado índice de utilização, com métodos tradicionais de cultivo e ausência de práticas conservacionistas. Para o plantio, eles são preparados antes mesmo do período chuvoso, de diferentes maneiras, utilizando-se como implementos enxada (manual), arado de aiveca (tração animal), arado e grade de discos (tração mecânica). Sabe-se que de modo geral, o preparo intensivo do solo, principalmente sem o uso de práticas conservacionistas, favorece as perdas de solo e água por erosão, comprometendo sua capacidade de produção agrícola, além de causar outros problemas ao ambiente (Silva et al. 1999).

Alguns estudos foram realizados no semiárido (Santos et al., 2009; Santos et al., 2008; Albuquerque et al., 2002; Silva et al., 1999) com o objetivo de estudar o efeito da implementação de práticas conservacionistas. Albuquerque et al. (2002), estudando perdas de solo e água em parcelas de erosão com 4% de declive, em região semiárida, cultivadas com palma forrageira, verificaram que o cultivo em nível em relação àquele em desnível reduziu as perdas de solo e água em 53,4 e 20%, respectivamente. Santos et al. (2009), em estudos realizados no semiárido pernambucano, sob chuva simulada, verificaram que nos sistemas com adoção da cobertura morta e do cultivo em nível mais barramentos em pedra, a umidade do solo mostrou-se consideravelmente mais elevada em relação à prática do cultivo morro abaixo.

A umidade do solo é a variável chave que define e que integra todas as componentes do balanço de energia da superfície. Apesar da umidade do solo ter um elevado grau de variabilidade no espaço e no tempo, que são controladas por muitos fatores, tais como tempo, textura do solo, vegetação e topografia, a compreensão do

equilíbrio da umidade do solo e da sua variabilidade (espacial e temporal) é fundamental para quantificar a relação entre região, ecologia, hidrologia e geologia (Richard et al., 2004).

A umidade do solo é importante para o crescimento das plantas porque ela é reagente na fotossíntese, age como solvente para os nutrientes das plantas e como mediadora para a moderação da temperatura nas plantas e no solo. Também ajuda no movimento de assimilação para todas as partes das plantas, controla a aeração do solo e fornece uma boa mediação para as atividades microbióticas no solo. A maior fonte de água para a produção das plantas, especialmente em países em desenvolvimento onde a irrigação é limitada, é a chuva. A precipitação efetiva depende da quantidade de chuva e taxa na qual a água é removida do solo através do escoamento superficial, percolação profunda ou drenagem e a evaporação da superfície do solo (Ampofo, 2006).

Chen et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes condições de superfície na umidade do solo e geração de escoamento superficial, em região árida da China. Estes autores verificaram que para a conservação da água, a vegetação formada por gramíneas e plantas herbáceas foram as de melhor conservação de umidade, enquanto que o cultivo morro abaixo foi de menor conservação da umidade do solo.

Em regiões áridas e semiáridas, a dinâmica da vegetação depende fortemente da disponibilidade de água no solo, a qual resulta de um complexo número de interações mútuas de processos hidrológicos (Porporato et al., 2002). Como manejar razoavelmente os recursos hídricos no tempo e no espaço é o maior desafio nestas regiões (Fernández et al., 2002).

Alguns estudos têm destacado a importância do conhecimento da umidade na superfície do solo a qual é um dos maiores desafios para a hidrologia e a bioclimatologia; entre os fatores que influenciam estão as propriedades do solo, a topografia e a vegetação. As relações entre a umidade do solo e as características acima devem ser estudadas em uma variedade de locais e de escalas, devido ao fato de que os fatores que controlam a umidade do solo em regiões úmidas serem diferentes das regiões áridas e semiáridas (Cantón et al., 2004).

A infiltração de água no solo é um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela sua superfície, podendo ser influenciada pelas suas propriedades intrínsecas e pelo modo como a água atinge essa superfície. Influem na infiltração de água no solo a porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras (Cauduro & Dorfman, 1988).

Ramos & Martínez-Casasnovas (2006) destacam a profundidade do solo como uma propriedade crítica determinante na retenção de água no solo. Neste sentido, as mudanças na superfície do solo possuem impacto significativo nas propriedades hidrológicas, como infiltração de água no solo e capacidade de retenção.

A reflectometria no domínio do tempo (TDR) tem sido amplamente usada, nas últimas décadas, para monitoramento da umidade superficial do solo, permitindo detalhada descrição desta variável ao longo do tempo. As medidas de TDR, do conteúdo de água no solo, são baseadas na forte correlação observada entre a constante dielétrica do solo e seu conteúdo volumétrico de água (Greco & Guida, 2008).

Alguns estudos utilizando este equipamento têm sido conduzidos no mundo. Cantón et al. (2004) utilizaram o equipamento TDR para descrever o comportamento da umidade do solo sob diferentes condições de superfície em região semiárida da Espanha. Em outra região semiárida da China, estudos utilizando este equipamento com o objetivo de avaliar a dinâmica da água no solo foram conduzidos por Chén et al. (2007), enquanto que Ramos & Martínez-Casasnovas utilizaram a TDR para estudos da variabilidade espacial do conteúdo de água no solo em um cultivo de uva, após o terreno ter sido nivelado, sob clima Mediterrâneo caracterizado por baixas temperaturas e precipitações de alta intensidade e curta duração (precipitação média anual de 550 mm).

Assim, o objetivo deste trabalho é o de investigar a variabilidade espacial e temporal do conteúdo superficial da água no solo sob diferentes tipos de cobertura superficial do solo, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR), sob as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Município de Pesqueira-PE, na Bacia Representativa do Alto Ipanema (Figura 1), com área de 183 km², localizada na Região Agreste do Estado de Pernambuco, entre 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste. O clima é semiárido muito quente tipo Estepe, segundo Köppen, a precipitação média anual é de 607 mm, a temperatura média é de 23⁰C e a evapotranspiração potencial é de cerca de 2.000 mm por ano. A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila (Montenegro & Montenegro, 2006).

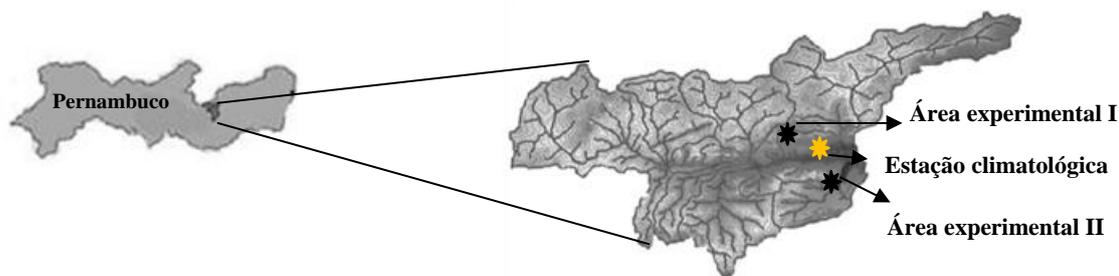


Figura 1. Localização da área de estudo, na Bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE.

Descrição do experimento

O experimento foi conduzido em encostas da bacia representativa, ambas com declividade de 5%. Os solos das áreas foram classificados como Argissolo Amarelo Eutrófico típico (área I) e Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (área II), cujas características físicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas dos solos estudados nas áreas experimentais

Área	Camada. (cm)	Horizonte	Areia -----	Argila (g Kg ⁻¹)	Silte -----	ADA (%)	Dp (Kg dm ⁻³)	Ds (Kg cm ⁻³)
I	0 - 17	Ap	342,4	290,9	366,7	13,53	2,66	1,73
	17 - 92	Bt1	249,1	404,3	346,7	19,20	2,70	1,74
	92 - 150	Bt2	182,4	430,9	386,7	18,53	2,72	1,75
II	0 - 12	Ap	448,5	231,5	320,0	11,20	2,64	1,48
	12 - 27	A1	441,9	264,8	293,3	11,20	2,72	1,51
	27 - 46	A2	315,2	324,8	360,0	15,20	2,64	1,45
	46 - 69	AB	288,5	338,1	373,3	15,20	2,67	1,68
	69 - 86	Bt	15,2	691,5	293,3	32,87	2,66	1,88

Dp- densidade das partículas; Ds- densidade do solo; ADA- argila dispersa em água.

Parcelas experimentais

A análise das perdas de água foram realizadas em campo a partir de quatro parcelas experimentais instaladas nas duas unidades de solo da bacia. As parcelas foram delimitadas por alvenaria, com dimensões de 4,5 m de largura e 11 m de comprimento, e na suas extremidades inferiores foram instalados sistemas coletores de enxurrada, constituídos de uma calha conectada por uma tubulação de PVC a um primeiro tanque de alvenaria, localizado imediatamente abaixo da parcela. Este tanque, por sua vez, está conectado ao segundo tanque de alvenaria, através de uma tubulação de PVC, pelo qual, o excedente de enxurrada será direcionado ao segundo.

Após cada chuva, o volume total de água escoado das parcelas foi medido através de metodologia proposta por Cogo (1978).

A Figura 2 apresenta dados históricos do comportamento médio mensal da temperatura e da precipitação no município de Pesqueira para os anos de 1961 e 2007. Verifica-se que a temperatura média anual fica em torno de 22,8°C, sendo o mês de julho o mais frio, com temperatura média em torno de 20,4°C e dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais quentes, com valores médios em torno de 24,3°C.

No período analisado a precipitação se concentrou nos meses de março a julho, representando 65% do total médio anual.

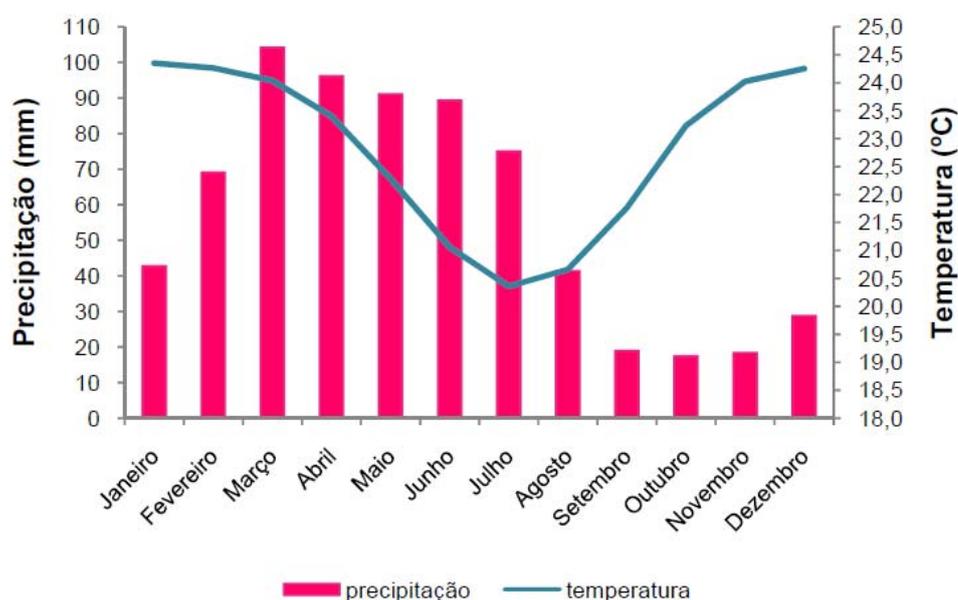


Figura 2. Climograma para Pesqueira (PE) entre 1961 e 2007. Fonte: Silva et al. (2008).

Em estudos de erosividade da precipitação realizados em anos anteriores (Figura 3), para a área de estudo, foi observado que os meses em que ocorrem chuvas de elevado potencial erosivo, são os meses de janeiro a maio. Neste estudo, o monitoramento da umidade do solo foi realizado durante os meses de fevereiro a abril de 2010.

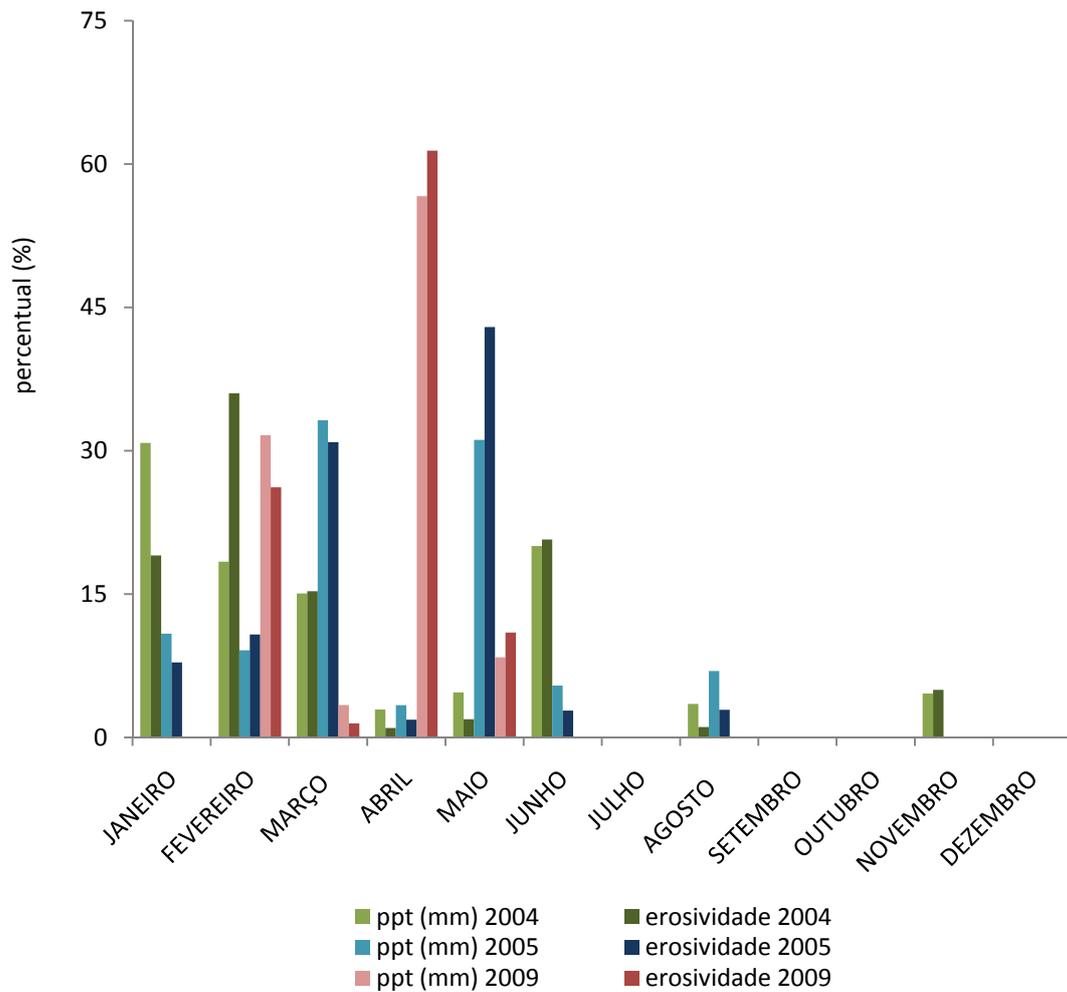


Figura 3. Distribuição percentual das precipitações e erosividades mensais, para a Bacia do Alto Ipanema, nos anos de 2004, 2005 e 2009. Fonte: Santos et al. (2009).

Em cada parcela foram instaladas duas sondas TDR, distanciadas de 1 m, para determinação do conteúdo de umidade do solo na profundidade de 20 cm. Estas sondas (Figura 4) foram construídas no Laboratório de solo e água, do departamento de Tecnologia Rural da UFRPE.



Figura 4. Sonda TDR confeccionada em laboratório.

Para calibração das sondas estabeleceu-se 21 pontos de coleta, em duas condições de umidade, seco e úmido, onde em seguida se comparou as leituras realizadas pelo equipamento e a umidade gravimétrica conduzida em laboratório. Na Figura 5 encontra-se o ajuste exponencial da calibração realizada entre constante dielétrica do solo e o conteúdo volumétrico de água no solo. Não se detectou diferenças de comportamento da calibração entre as duas unidades de Argissolos aqui estudadas, desse modo adotou-se a curva abaixo representativa para as duas áreas.

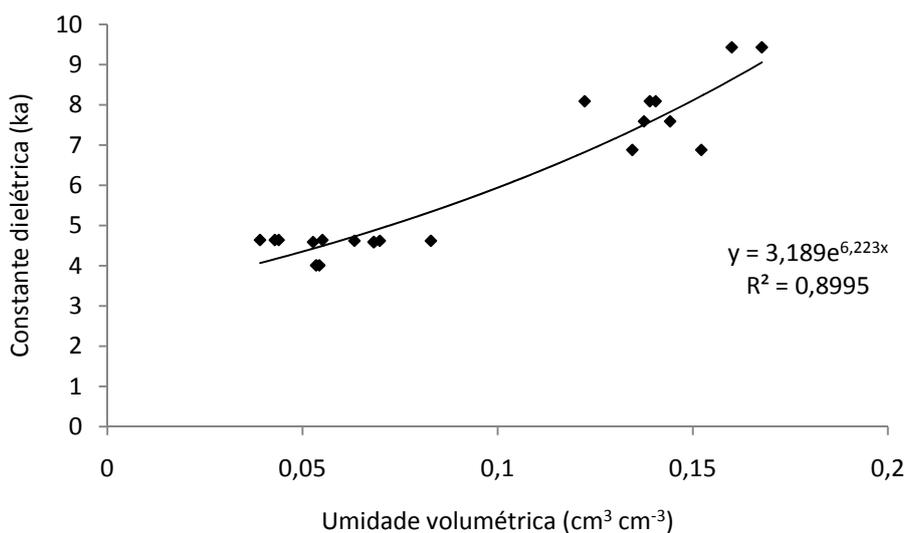


Figura 5. Curva de calibração para a TDR

Um pluviógrafo automático, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific, com resolução de 0,254 mm (Figura 6), também estava instalado na área para registro da precipitação. A TDR e o pluviógrafo estavam acoplados a um datalogger modelo CR1000, programado para registrar a cada 5 minutos os eventos. A partir dos dados armazenados, as alturas de precipitação e a intensidade de chuva foram analisadas.

Na área central da bacia existe uma estação meteorológica automática modelo Campbell, que registra temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação.

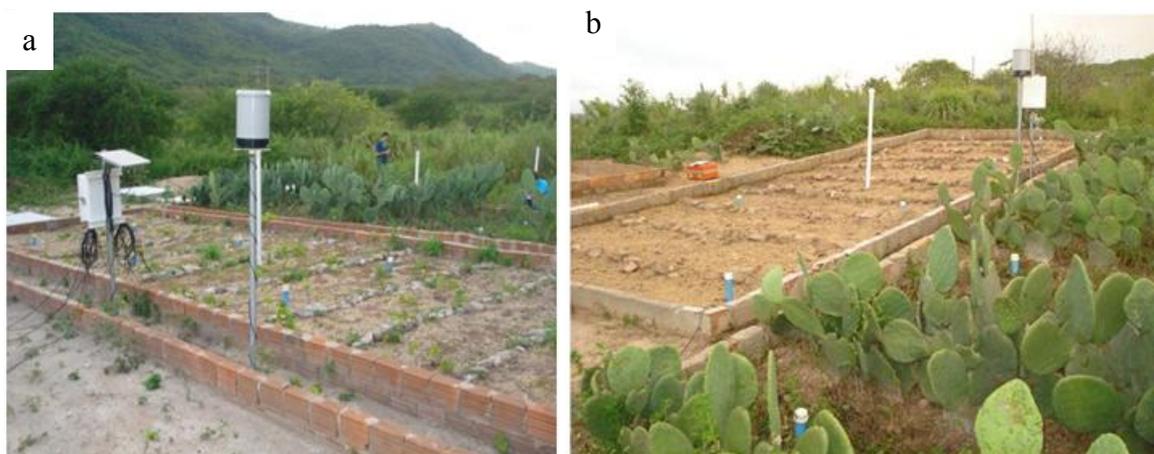


Figura 6. Áreas experimentais I (a) e II (b) onde as parcelas experimentais estão instaladas, dotadas de sondas TDR e de pluviógrafo automático.

Os dados das leituras da TDR 100 foram transformados em umidade volumétrica, com base em curvas de calibração previamente estabelecidas para os solos da área experimental.

Foram adotados os seguintes tratamentos nas parcelas experimentais: cobertura natural (CN); palma forrageira (P), cultivada no espaçamento de 0,25 x 0,5 x 3,0 m (Galindo et al., 2005), de modo a formar barreiras para contenção do escoamento superficial; barramentos em pedras com cobertura morta, com aproximadamente 8 cm de altura (BP+CM); e solo descoberto (SD). A cobertura morta aplicada foi o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) com densidades de 6,18 Mg ha⁻¹ e 7,04 Mg ha⁻¹ para as áreas experimentais 1 e 2, respectivamente.

Para a determinação da curva de retenção de água foram coletadas amostras com estrutura preservada, em anéis metálicos, em três repetições, nas profundidades de leituras da umidade, sendo utilizada a câmara de pressão de Richards (Richards, 1965),

pertencente ao laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. As umidades do solo, na base de volume, foram obtidas para os potenciais matriciais de -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa. As curvas de retenção foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o “software” Estatística 6.0 (STATSOFT, 2001), apresentando coeficientes de determinação de 0,99 e 0,97 para a profundidade de 20 cm nos Argissolo Amarelo Eutrófico típico e Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, respectivamente. Na Figura 7a e 7b são apresentadas as curvas de retenção obtidas para os dois solos em estudo.

O cálculo de umidade do solo correspondente a cada tensão matricial na câmara de Richards, no intervalo de aproximadamente de 24 h, foi determinada com base no método proposto pela EMBRAPA (1997).

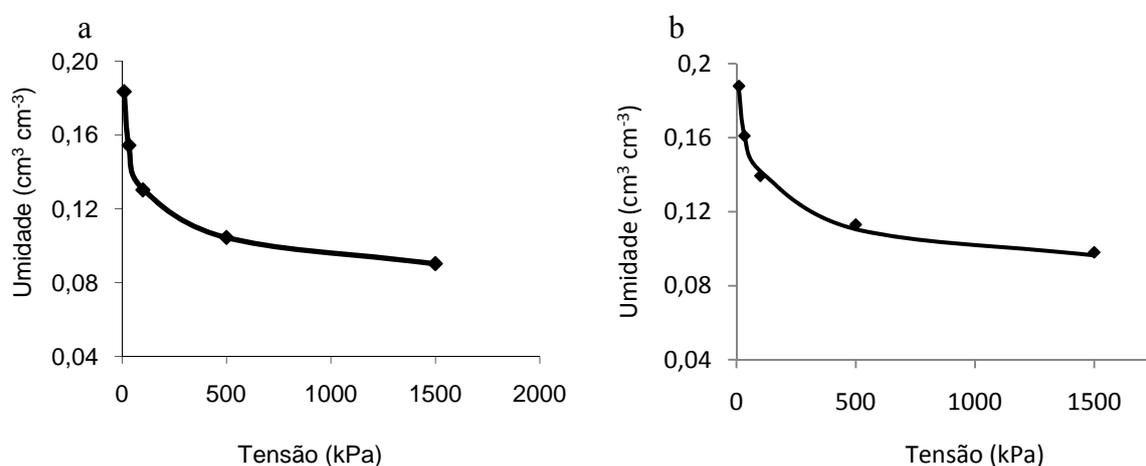


Figura 7. Curvas de retenção para o Argissolo Amarelo Eutrófico típico (a) e para o Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (b), na profundidade de 20 cm.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise multivariada com medidas repetidas ao longo do tempo, onde foi avaliada a retenção de umidade do solo, nos diferentes tratamentos, até seis dias após a ocorrência de determinada intensidade de precipitação, que foram consideradas como blocos. Neste caso, foram considerados 14 eventos de precipitação. A análise estatística foi realizada utilizando-se o pacote estatístico SAS – Statistical Analytical System (SAS, 1998). Para comparação entre as médias dos tratamentos, adotou-se o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Na definição de tais eventos (blocos), considerou-se também a umidade antecedente de 1 dia.

Análise da dependência temporal

Para a análise da dependência temporal, utilizou-se o software GS⁺ (Robertson, 1998). As informações diárias da TDR permitem analisar a dependência temporal da umidade do solo para cada tratamento, a partir da verificação dos parâmetros básicos dos semivariogramas temporais, que podem ser expressos pela expressão 1:

$$\gamma(t) = \frac{1}{2N(t)} \sum (Z(t_i) - Z(t_i + t))^2 \quad (1)$$

em que $\gamma(t)$ é a semivariância temporal para “t”, e Z é a propriedade de interesse. A partir dos semivariogramas gerados, em particular a partir do patamar e do alcance, é possível avaliar a dependência temporal da variável de interesse, identificando as condições de cobertura que conduzem a maior grau de dependência temporal da variável. De modo a normalizar os dados, escalonou-se os semivariogramas experimentais calculados.

Efetividade da água do solo

A efetividade da água no solo foi avaliada usando-se a expressão 2 (Porporatto et al., 2002).

$$SW_E = \frac{S_i - S_w}{S_s - S_w} \quad (2)$$

em que S_i é a umidade atual do solo; S_s é a umidade do solo na capacidade de campo e S_w é a umidade do solo no ponto de murcha permanente. A efetividade da umidade do solo pode ser classificada em cinco grupos (Tabela 2).

Tabela 2. Critério para avaliação da efetividade da água no solo.

SW _E	Efetividade
>1,00	Extremamente efetivo
0,75-1,00	Alta efetividade
0,50-0,75	Moderada-alta efetividade
0,25-0,50	Baixa efetividade
0,00-0,25	Efetividade marginal
<0,00	Não efetivo

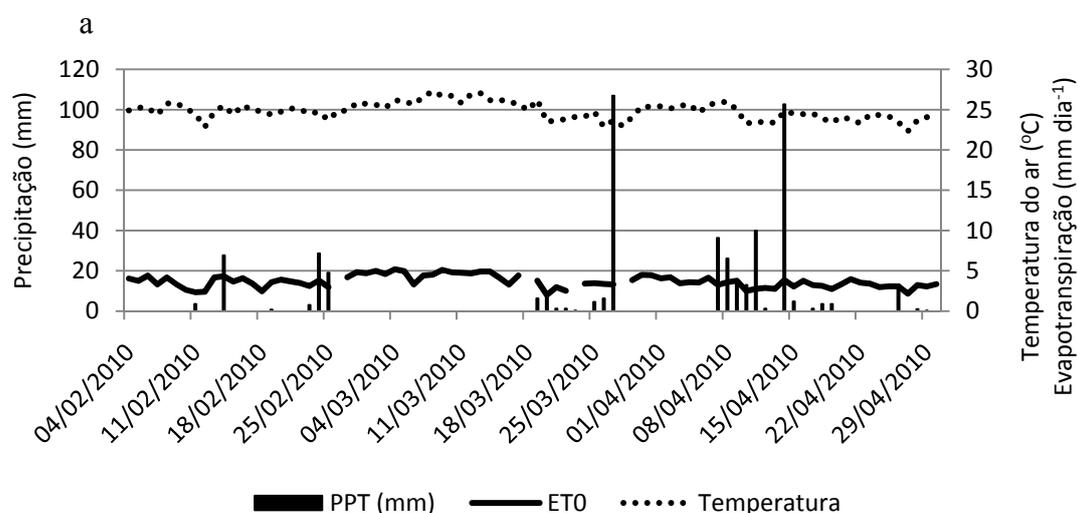
Fonte: Chen et al. (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Área experimental I

Na Figura 8 estão apresentadas a lâmina precipitada, a temperatura do ar e a evapotranspiração para o período de monitoramento, assim como as intensidades de chuva. Durante o período de estudo, ocorreram 26 eventos de precipitação, que totalizaram 479,30 mm. Destes, 42,30% apresentou lâmina de precipitação superior a 10 mm, mas apenas quatro eventos possuem intensidade superior a 10 mm h^{-1} ; os demais eventos são de intensidade inferior a 10 mm/h . A maior intensidade de precipitação ocorreu em 14/04, com valor de $67,68 \text{ mm h}^{-1}$.

Comparando-se estes valores com os dados históricos representados pela Figura 2, verificou-se que os meses de fevereiro, março e abril para o ano de 2010, encontram-se com valores médios mensais acima da média histórica calculada para os anos de 1961 a 2007, que é em torno de 70, 105 e de 97 mm para fevereiro, março e abril, respectivamente.



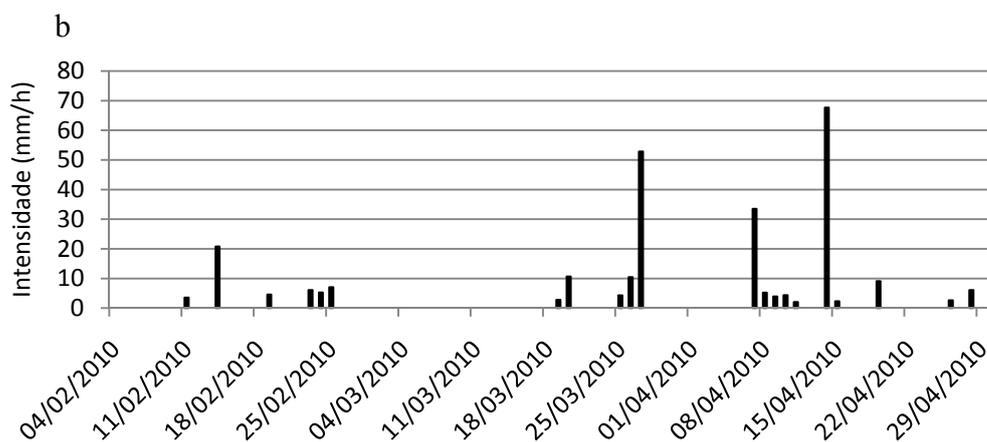


Figura 8. Distribuição da lâmina precipitada, temperatura, evapotranspiração potencial (a) e da intensidade de precipitação (b) ocorrida durante o período de estudo, na área experimental I.

Na Figura 9 apresenta-se o comportamento temporal da umidade do solo para o mês de Fevereiro de 2010. Neste mês, a precipitação total foi de 82,80 mm, conforme Figura 8. Observa-se que no início do mês a umidade do solo encontrava-se abaixo da umidade no ponto de murcha permanente teórico ($0,71 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Em 14/02 precipitou uma lâmina de 27,6 mm. Apesar de ter sido de baixa intensidade ($20,8 \text{ mm h}^{-1}$) gerou-se incremento de umidade do solo para todas as condições de superfície; porém, este incremento foi menos acentuado para a condição de solo descoberto, que permaneceu com o menor teor de água.

A presença de vegetação ou de impedimentos ao livre escoamento, encontrado nos demais tratamentos, influenciou na contenção do escoamento superficial e proporcionou o incremento de umidade observada. Tal incremento foi resultado da redução da velocidade do escoamento, causada pela presença de resíduos vegetais na superfície o que, geralmente, produz aumento da rugosidade hidráulica do fluxo superficial, com conseqüente aumento da altura do escoamento (Braida & Cassol, 1999). Com efeito, Santos et al. (2009) encontraram reduções significativas nas perdas de água para os tratamentos com cobertura morta e barramento em pedra, na região semiárida de Pernambuco.

Observando os dados de escoamento superficial ocorridos nas parcelas experimentais, verifica-se que para o evento ocorrido no dia 14/02, apenas a parcela descoberta apresentou escoamento superficial, onde se verificou que praticamente 70% da chuva que caiu na parcela gerou escoamento superficial, provavelmente decorrente de selamento superficial, justificando assim o menor teor de umidade nesta parcela. Galindo et al. (2008), caracterizando os solos e a vegetação em áreas de caatinga

apresentando diferentes níveis de degradação, identificaram quais atributos do solo refletiram melhor o nível de degradação da vegetação. Verificaram que a presença de micas parcialmente alteradas (biotita e muscovita), nas frações areias grossa e fina dos horizontes superficiais, podem contribuir para o aumento da susceptibilidade à erosão e encrostamento. A fração silte dos solos é composta basicamente por quartzo, feldspato, mica e calcita, enquanto a fração argila é constituída por minerais de argila do grupo das caulinitas, micas e esmectitas. Foi observado que a presença expressiva de argilas do grupo das esmectitas contribui para a baixa permeabilidade dos horizontes subsuperficiais.

Saliente-se que a umidade antecedente ao evento estava próxima ao valor residual. Verifica-se expressivo umedecimento do solo em consequência da precipitação e de aportes hídricos das camadas mais superficiais.

Com a não ocorrência de precipitação durante os nove dias subsequentes, o solo foi perdendo umidade. As perdas de umidade foram de 63,33; 28,88; 59,00 e 59,33% para as condições de cobertura nativa, solo descoberto, barramento em pedra e palma forrageira, respectivamente. Observa-se que a maior redução encontrada foi para o solo sob cobertura nativa, evidenciando o efeito da evapotranspiração real, uma vez que esta condição de superfície do solo é a que possui maior densidade de cobertura vegetal.

Em 24/02 precipitou uma lâmina de 28,7 mm, praticamente a mesma lâmina precipitada em 14/02, porém a umidade do solo atingiu valores superiores aos valores da umidade na capacidade de campo ($0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), uma vez que o solo já se encontrava com umidade antecedente superior ao primeiro evento. Pan et al. (2008) estudaram a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo no deserto da China e verificaram que, em geral, o conteúdo de água no solo, dentre outros fatores, depende do teor de umidade antecedente. Se previamente o solo estiver mais úmido, este atingirá maiores médias de umidade do solo, mesmo para uma mesma lâmina de chuva.

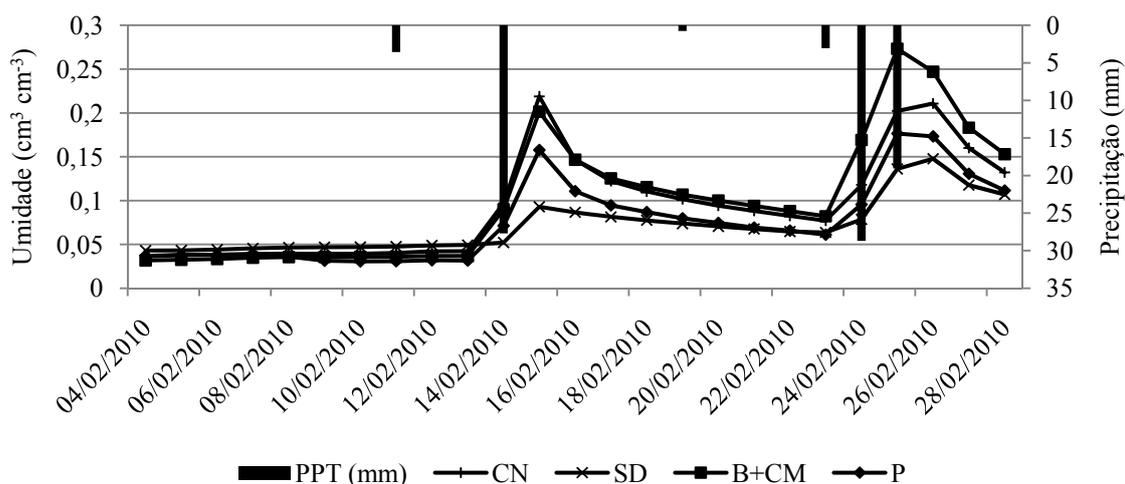


Figura 9. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados a cobertura morta; P- palma forrageira.

Após o evento ocorrido em 25/02, para que o solo chegasse à umidade do solo no ponto de murcha permanente, passou-se 6, 12, 9 e 6 dias para as condições cobertura natural, solo descoberto, barramento e palma forrageira, respectivamente. Devido à ausência de vegetação no solo descoberto, este levou mais tempo para atingir o ponto de murcha permanente. Resultados semelhantes foram encontrados por Ampofo (2006), que observou que durante a estação chuvosa, a parcela com cobertura morta reteve maior umidade quando comparada com as parcelas florestadas e solo descoberto; no entanto, a parcela com cobertura morta perdeu mais umidade para a atmosfera durante a estação seca.

Passados 32 dias sem ocorrer precipitação (Figura 10), o solo voltou às condições de umidade abaixo do ponto de murcha permanente. Em 27/03 a lâmina precipitada foi de 106,9 mm, com uma intensidade de 52,8 mm h⁻¹. Segundo Pan et al. (2008), chuvas de alta intensidade podem causar escoamento superficial e assim produzir menor incremento de umidade do solo do que chuvas com baixas intensidades. Observando os valores de escoamento superficial ocorrido neste dia nas parcelas experimentais, verificou-se que nos tratamentos cobertura natural, solo descoberto e barramentos, e as respectivas perdas de água em percentagens de chuva caída na parcela experimental foram 0,24; 30,62 e 0,12%. Tais valores explicam o menor incremento de umidade para o solo descoberto observado na Figura 6.

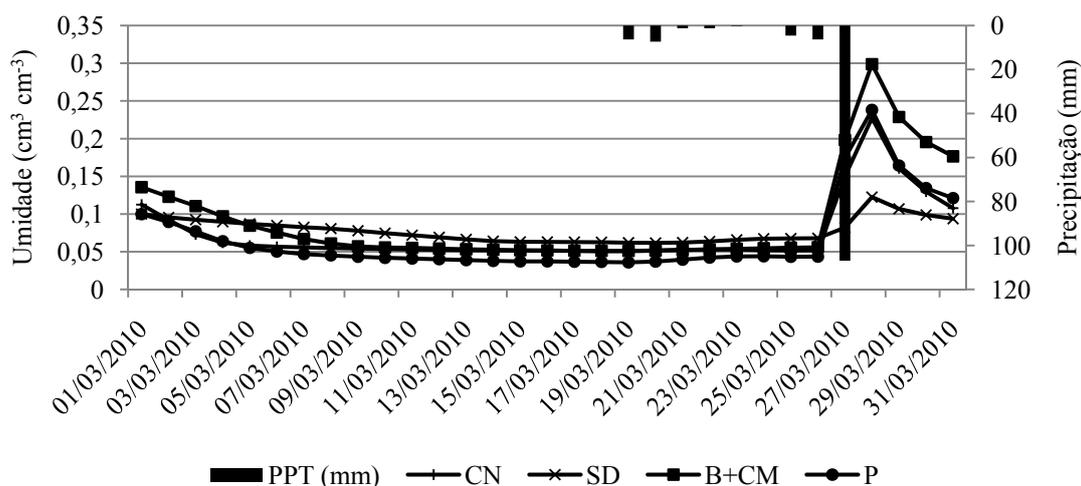


Figura 10. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de março de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados a cobertura morta; P- palma forrageira

Na Figura 11 observa-se que, de 28/03 a 06/04, não houve precipitação e as umidades dos tratamentos que receberam a prática conservacionista mantiveram valores mais elevados. Destaca-se o tratamento barramento associado à cobertura morta, que manteve os valores de umidade próximos à capacidade de campo ($0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Os quatro dias subsequentes foram de ocorrência de chuva, e assim o solo atingiu valores próximos à umidade de saturação ($0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) nos tratamentos barramento e palma, os quais já se encontravam com umidade antecedente elevada. Do dia 11/04 ao 14/04, as perdas de umidade para os tratamentos foram de 33,3; 27,7; 30,0 e 31,0% para cobertura natural, solo descoberto, barramentos e palma forrageira, respectivamente. Novamente, deve-se salientar a relevância da evapotranspiração na demanda hídrica da parcela com cobertura natural.

Em 14/04 precipitou uma lâmina de 102,6 mm, associada a uma elevada intensidade de $67,7 \text{ mm h}^{-1}$, que gerou escoamento nos tratamentos cobertura natural, solo descoberto e barramento, e as respectivas perdas de água em percentagens de chuva caída na parcela experimental foram de 0,47; 32,09 e 0,13%, respectivamente. Ramos & Martínez-Casasnovas (2006), estudando o efeito das intensidades de chuva no escoamento superficial e umidade do solo, verificaram que as chuvas de alta intensidade apresentaram valores significativamente superiores de escoamento superficial, em detrimento às chuvas de baixa intensidade.

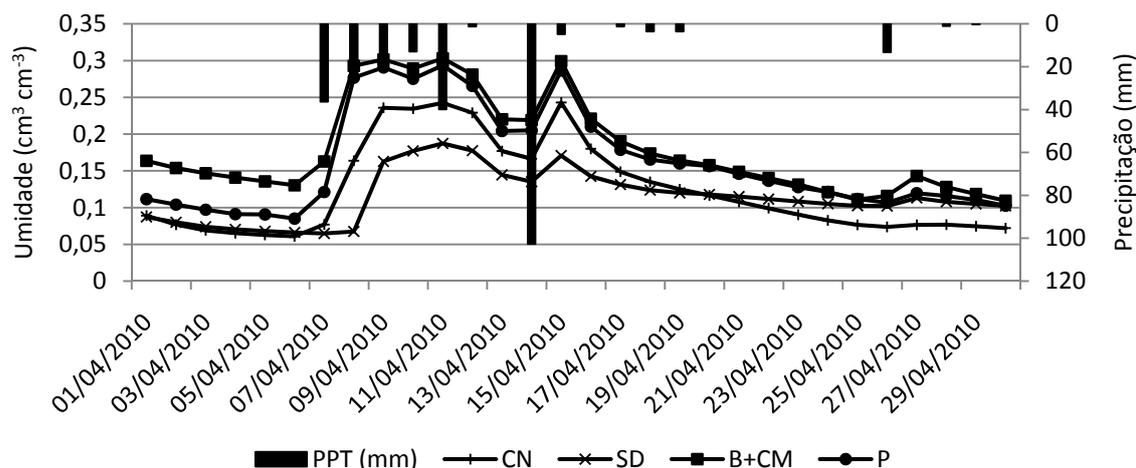


Figura 11. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

Na Tabela 3 estão apresentadas as lâminas de água diárias escoadas em cada parcela experimental, em virtude das chuvas ocorridas durante a condução do experimento. As perdas totais de água foram 0,88; 147,79; 0,44 e 0,00 mm, para os tratamentos cobertura natural, solo descoberto, barramento associado à cobertura morta e palma forrageira, respectivamente.

Estas diferenças entre os tratamentos estão relacionadas aos níveis de cobertura do solo, já que para o tratamento solo descoberto não existe impedimento ao livre escoamento, o que fez com que a velocidade de escoamento da água sobre o solo fosse aumentada, reduzindo então a sua infiltração, acarretando assim aumento nas perdas totais de água em detrimento aos demais tratamentos.

Tabela 3. Dados de precipitação e lâmina escoada nas parcelas experimentais durante período experimental.

Data	Tratamento	Precipitação (mm)	Lâmina escoada (mm)	Perda de água (% da chuva)
14/02/10	CN	27,69	0,0	0,0
	D	27,69	18,9	68,3
	B+CM	27,69	0,0	0,0
	P	27,69	0,0	0,0
25/02/10	CN	28,70	0,0	0,0
	D	28,70	7,1	24,9
	B+CM	28,70	0,0	0,0
	P	28,70	0,0	0,0
25/02/10	CN	19,05	0,0	0,0
	D	19,05	8,6	45,4
	B+CM	19,05	0,0	0,0
	P	19,05	0,0	0,0
20/03/10	CN	13,60	0,0	0,0
	D	13,60	0,2	1,7
	B+CM	13,60	0,0	0,0
	P	13,60	0,0	0,0
27/03/10	CN	106,94	0,3	0,2
	D	106,94	32,8	30,6
	B+CM	106,94	0,1	0,1
	P	106,94	0,0	0,0
07/04/10	CN	36,32	0,1	0,2
	D	36,32	19,6	53,9
	B+CM	36,32	0,0	0,1
	P	36,32	0,0	0,0
08/04/10	CN	26,16	0,0	0,0
	D	26,16	7,1	27,3
	B+CM	26,16	0,1	0,5
	P	26,16	0,0	0,0
11/04/10	CN	39,88	0,1	0,1
	D	39,88	20,4	51,3
	B+CM	39,88	0,0	0,0
	P	39,88	0,0	0,0
14/04/10	CN	102,62	0,5	0,5
	D	102,62	32,9	32,1
	B+CM	102,62	0,1	0,1
	P	102,62	0,0	0,0

CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

A partir da análise estatística dos dados foi verificada interação entre dias após ocorrido o evento de precipitação e a umidade do solo, bem como interação significativa também entre tempo e condições de superfície. Ambas as interações foram significativas ao nível de 1%.

Na Tabela 4 encontram-se as médias dos valores da umidade do solo, até seis dias após a ocorrência da precipitação.

Observa-se que, antes do dia da ocorrência da precipitação, só havia diferença significativa para as condições de solo sob barramento associado à cobertura morta e à condição de solo descoberto. A eficiência da implementação da cobertura morta pode

ser observada nesta tabela, onde se verifica que este tratamento apresentou-se com médias significativamente superiores aos demais tratamentos, comprovando ser uma alternativa adequada para a agricultura de sequeiro, uma vez que mantém a umidade do solo elevada mesmo depois de passados seis dias de ocorrência a precipitação.

Em relação à utilização da palma forrageira como barramento ao escoamento superficial, observa-se que esta prática também mantém o solo com umidade elevada, igualando-se ao solo com cobertura morta apenas no primeiro dia; ao longo dos seis dias após a precipitação, a umidade do solo não se diferencia estatisticamente da umidade do solo sob cobertura natural. Este tratamento, até o quarto dia após a ocorrência da precipitação, mantém-se com a umidade média do solo elevada, não se diferenciando estatisticamente do solo sob o plantio de palma forrageira; entretanto, com o passar dos dias, a média deste tratamento decai, não se diferenciando estatisticamente da condição de solo descoberto.

Vale ressaltar que a umidade do solo da condição sob cobertura natural aumenta até o segundo dia após a precipitação e a partir daí começa a decair. O aumento da média de umidade nos primeiros dias pode ser devido à interceptação vegetal que, após reter parte da precipitação, começa a liberar água para o solo. Por outro lado, o fato da umidade do solo, sob esta condição, decair após o terceiro dia (se igualando à média do solo descoberto) pode ser devido à evapotranspiração ser mais acentuada na primeira condição. Pan et al. (2008), estudando a variabilidade espacial do conteúdo de umidade da superfície do solo em uma região árida da China, verificaram que a vegetação influenciou na variabilidade da umidade do solo, pelo padrão de precipitação imposto pelo dossel, representado pela interceptação vegetal.

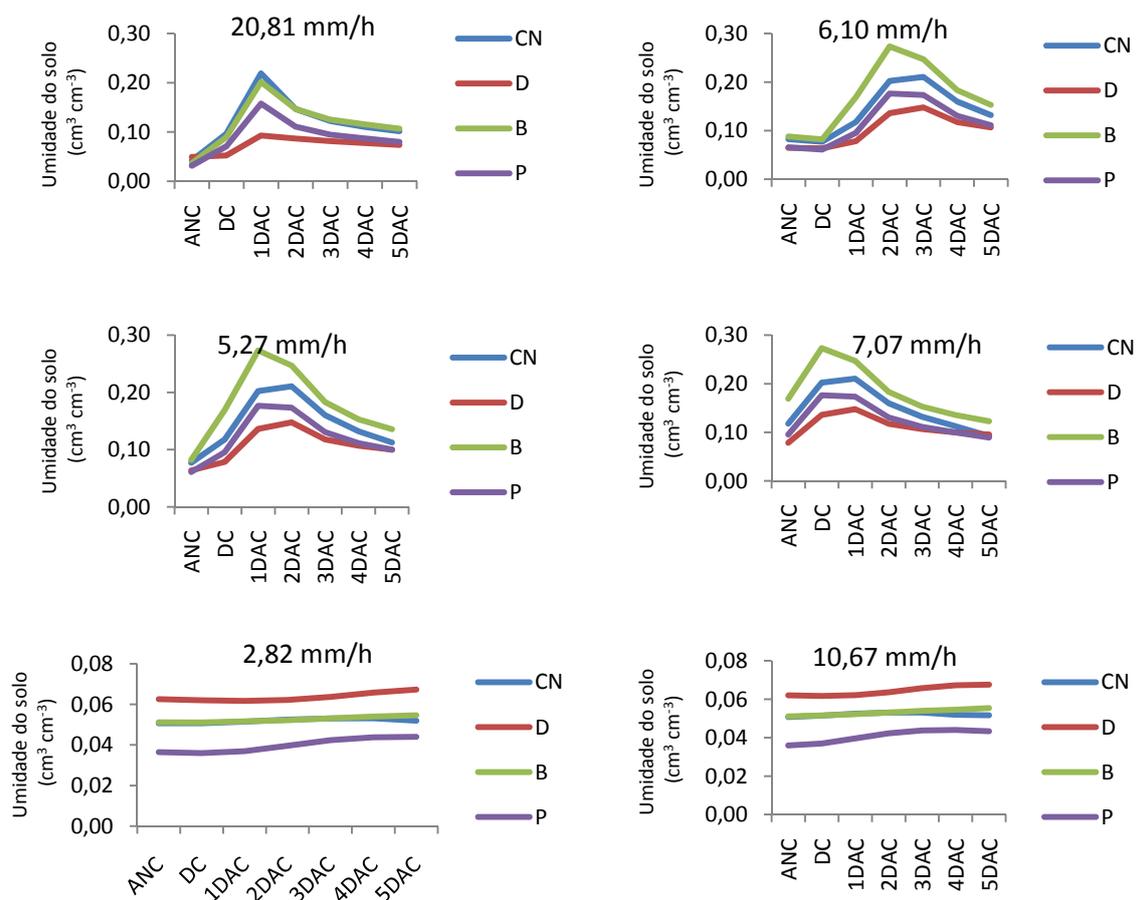
Tabela 4. Médias das umidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico para as diferentes condições de superfície e umidade antecedente, estudadas em dias subsequentes à ocorrência da precipitação.

Tratamento	ANC	DC	1 DAC	2 DAC	3 DAC	4 DAC	5 DAC	6 DAC
B+CM	0,125 ⁽¹⁾ a	0,163 a	0,216 a	0,219 a	0,201 a	0,178 a	0,167 a	0,156 a
P	0,102 ab	0,136 ab	0,182 ab	0,184 b	0,167 b	0,147 b	0,139 b	0,130 b
CN	0,092 ab	0,123 bc	0,171 b	0,177 b	0,162 b	0,141 b	0,129 bc	0,116 bc
SD	0,077 b	0,091 c	0,115 c	0,126 c	0,123 c	0,114 c	0,109 c	0,105 c

⁽¹⁾Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. B+CM- barramento associado a cobertura morta; P- palma forrageira; CN- cobertura natural e SD- solo descoberto. ANC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva.

A Figura 12 representa o comportamento da umidade do solo nos diferentes tratamentos sob diferentes intensidades de precipitação natural, em ordem cronológica.

As chuvas dos perfis de 1 a 4, cujas intensidades são 20,8, 6,1, 5,2 e 7,0 mm h⁻¹, respectivamente, são efetivas na elevação da umidade do solo em todos os tratamentos. Apesar das chuvas dos perfis de 2 a 4 serem de baixa intensidade, elas conseguem elevar a umidade do solo, o que pode ser explicado pelo fato de que a primeira chuva ocorrente ser de intensidade mais elevada, fazendo com que a umidade do solo alcance níveis superiores à capacidade de campo (0,15 cm³ cm⁻³). Sendo assim, as precipitações ocorridas posteriormente mantiveram a umidade do solo elevada. Ramos & Martínez-Casasnovas (2006) estudando o efeito das precipitações na umidade do solo e geração de escoamento superficial, em clima Mediterrâneo, verificaram que chuvas de alta intensidade aumentam apenas a umidade da camada superficial do solo, nenhum aumento significativo é observado para camadas mais profundas. Entretanto, sob baixas intensidades de chuva o incremento de umidade do solo ocorre em todo o perfil.



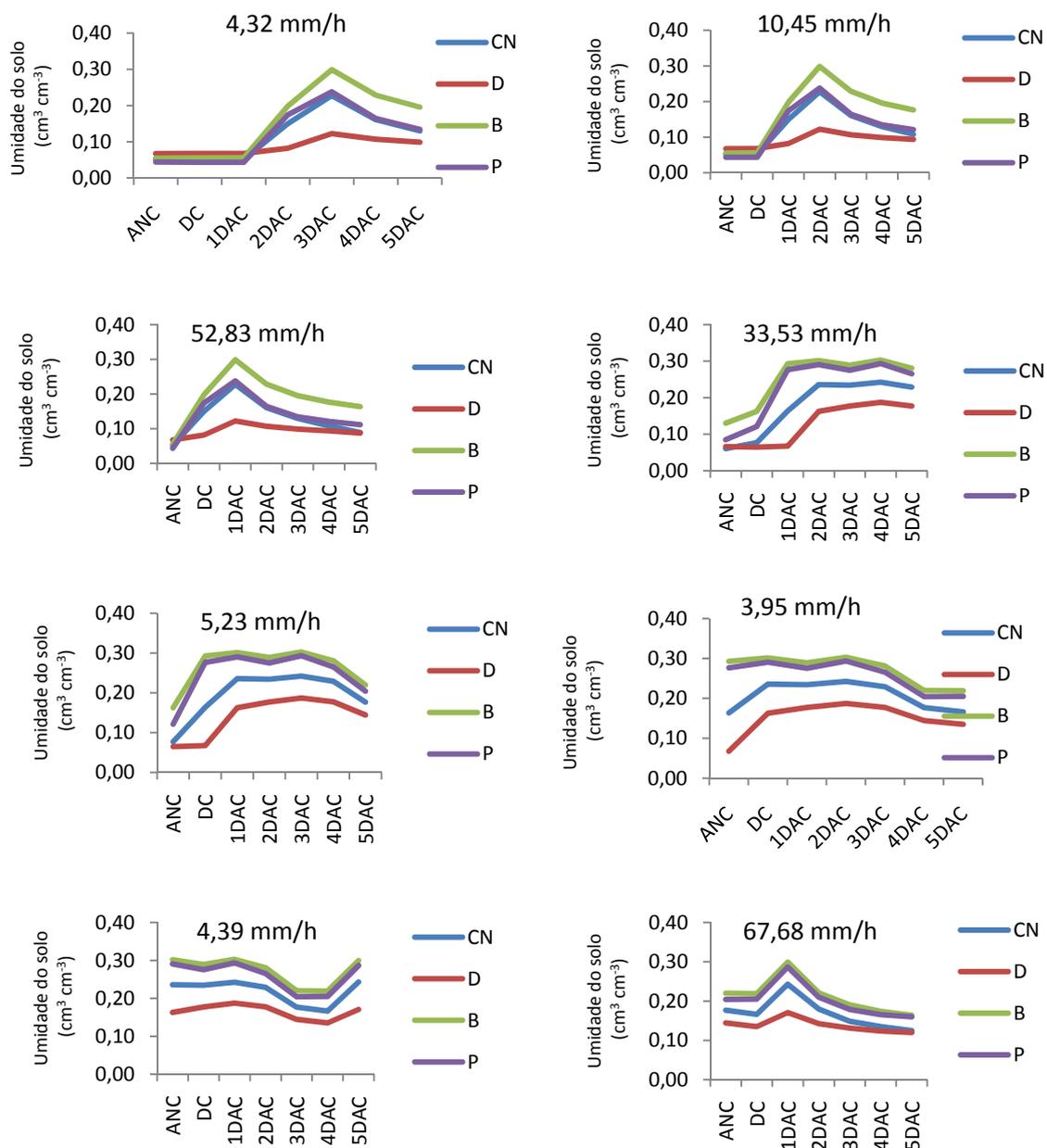


Figura 12. Comportamento da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico sob diferentes condições de superfície avaliadas sob as intensidades de precipitação ocorridas durante o período experimental. ANC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva. CN- cobertura natural; D- solo descoberto; B- barramento; P- palma.

Pode-se comprovar este fato observando-se os perfis 5 e 6, cujas intensidades de precipitação são iguais a 2,8 e 10,6 mm h⁻¹, respectivamente, e apesar do perfil 6 ter intensidade superior aos perfis 2, 3 e 4, este não eleva a umidade do solo, já que o mesmo encontra-se com condições de umidade antecedente abaixo da umidade do ponto de murcha permanente (7%) e a umidade do solo descoberto torna-se superior às demais condições de cobertura superficial. Resultados semelhantes foram encontrados por

Cantón et al. (2004), que avaliaram a umidade do solo sob diferentes condições de superfície e verificaram que a umidade do solo usualmente permanece mais elevada sob a vegetação arbustiva do que em áreas descobertas, na profundidade de 15 cm, exceto para precipitações de baixo volume, que induz um aumento na umidade de solos descobertos superior ao solo sob vegetação, por causa da interceptação vegetal da chuva.

Este mesmo comportamento é observado para os perfis 7 e 8, que apresentam intensidade de precipitação igual a 4,32 e 10,45 mm h⁻¹, não havendo resposta da umidade do solo para estas intensidades.

As intensidades de precipitação elevadas, representadas pelos perfis 9 e 10, de 52,8 e 33,5 mm h⁻¹, respectivamente, são efetivas e elevam a umidade do solo em todos os tratamentos. As precipitações ocorridas em seguida, representadas pelos perfis 11, 12 e 13, com respectivas intensidades 5,2, 3,9 e 4,3 mm h⁻¹, apesar de serem de baixa intensidade, foram efetivas na elevação e mesmo manutenção da umidade do solo, uma vez que a umidade antecedente do solo encontrava-se próxima ou superior à umidade na capacidade de campo.

O perfil 14 representa a maior intensidade de precipitação ocorrida neste período e igual a 67,6 mm h⁻¹, observando-se um rápido incremento de umidade do solo até um dia após a ocorrência de chuva; em seguida o solo entra novamente em processo de secamento.

Na Figura 13 são apresentadas as distribuições de freqüências relativas dos valores da porcentagem de umidade do solo. Observa-se nesta figura que os tratamentos palma e barramento (associado com cobertura morta) apresentam as maiores permanências de valores elevados de umidade do solo, seguidos pela cobertura natural e solo descoberto. Adicionalmente, deve-se mencionar que os maiores valores de umidade, durante o período experimental, são também observados nos tratamentos palma e barramento associado a cobertura morta.

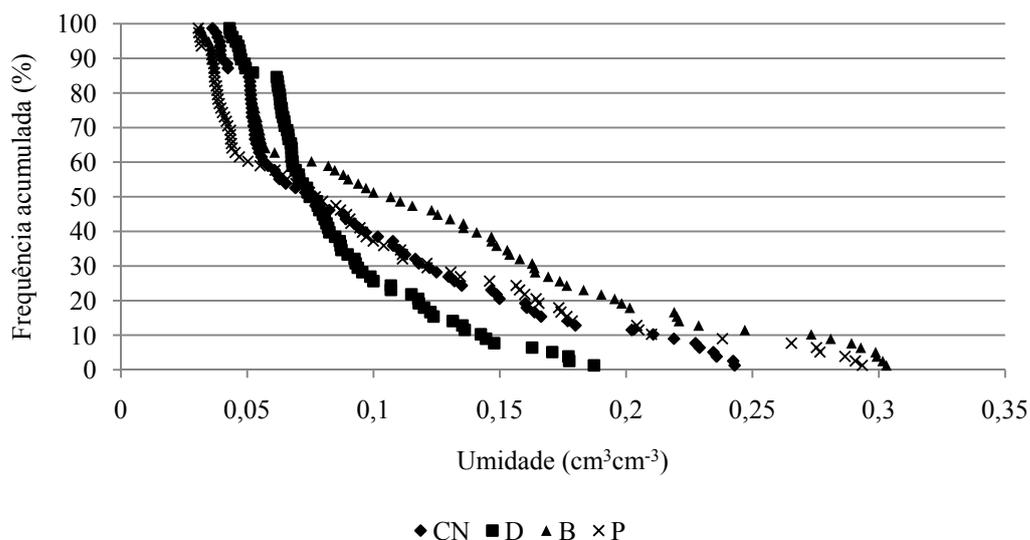


Figura 13. Frequência acumulada para os dados de umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico durante todo o período experimental.

Observa-se na Tabela 5 que, durante o período experimental, mais de 45% das umidades do solo apresentaram-se não efetivas para as condições de solo sob cobertura natural, palma e solo descoberto. Este parâmetro apresentou-se elevado para a condição de solo sob barramento associado à cobertura morta, onde mais de 48,03% dos valores de umidade apresentaram critério de extrema efetividade a efetividade de alta a moderada.

De modo geral, o mês de março foi o que apresentou a menor efetividade de água no solo, devido ao fato deste período ser também o de menor total precipitado.

Tabela 5. Efetividade relativa da água no solo sob diferentes condições de superfície.

Tratamentos	>1	0,75-1	0,5-0,75	0,25-0,5	0-0,25	<0
CN	19,48	5,19	7,79	10,38	9,09	48,05
P	6,49	6,49	9,09	10,38	22,07	45,45
B+CM	32,46	10,38	5,19	6,49	6,49	38,96
SD	24,67	2,59	3,89	10,38	10,38	48,05

CN- cobertura natural; P-Palma; B+CM- barramento associado à cobertura morta; SD- solo descoberto

Análise da dependência temporal:

As condições de cobertura do solo foram analisadas quanto à dependência temporal. Na Figura 14 pode-se verificar os semivariogramas temporais escalonados para as condições de solo descoberto, solo com cobertura morta consorciada com barramentos, com cobertura natural e solo com palma. Nota-se que os alcances dos

semivariogramas temporais dependem da condição de cobertura, em particular para a primeira fase do comportamento periódico.

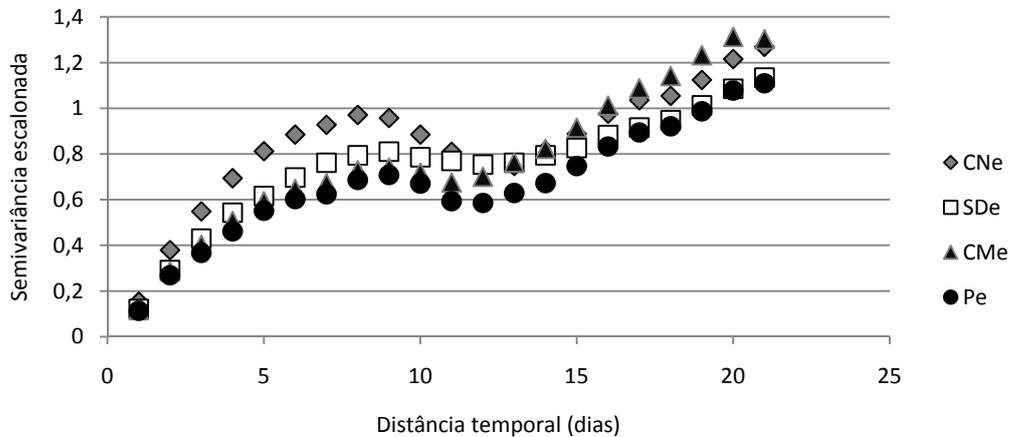


Figura 14. Semivariogramas temporais escalonados da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico típico na área experimental I, em função do tipo de cobertura da superfície.

Para a condição de cobertura natural, as semivariâncias temporais aumentam, atingindo patamar próximo a 1,0 para distâncias temporais menores. Os tratamentos de cobertura morta e de palma são os que apresentam maiores alcances. Tal resultado está associado a co-variâncias temporais mais elevadas.

2. Área experimental II

Para a área experimental II, o período de estudo compreende os meses de janeiro a abril de 2010. A distribuição da lâmina precipitada, temperatura do ar, evapotranspiração potencial e da intensidade de chuva durante o período experimental encontram-se nas Figuras 15a e 15b, respectivamente. Durante este período, ocorreram 41 eventos pluviométricos; destes, 39,02% representam lâmina precipitada superior a 10 mm, enquanto que 60,97% dos eventos apresentaram intensidade de precipitação inferior a 10 mm/h.

Para esta área, assim como para área I, também foi verificada médias mensais do total precipitado superiores aos dados históricos representados pela Figura 2

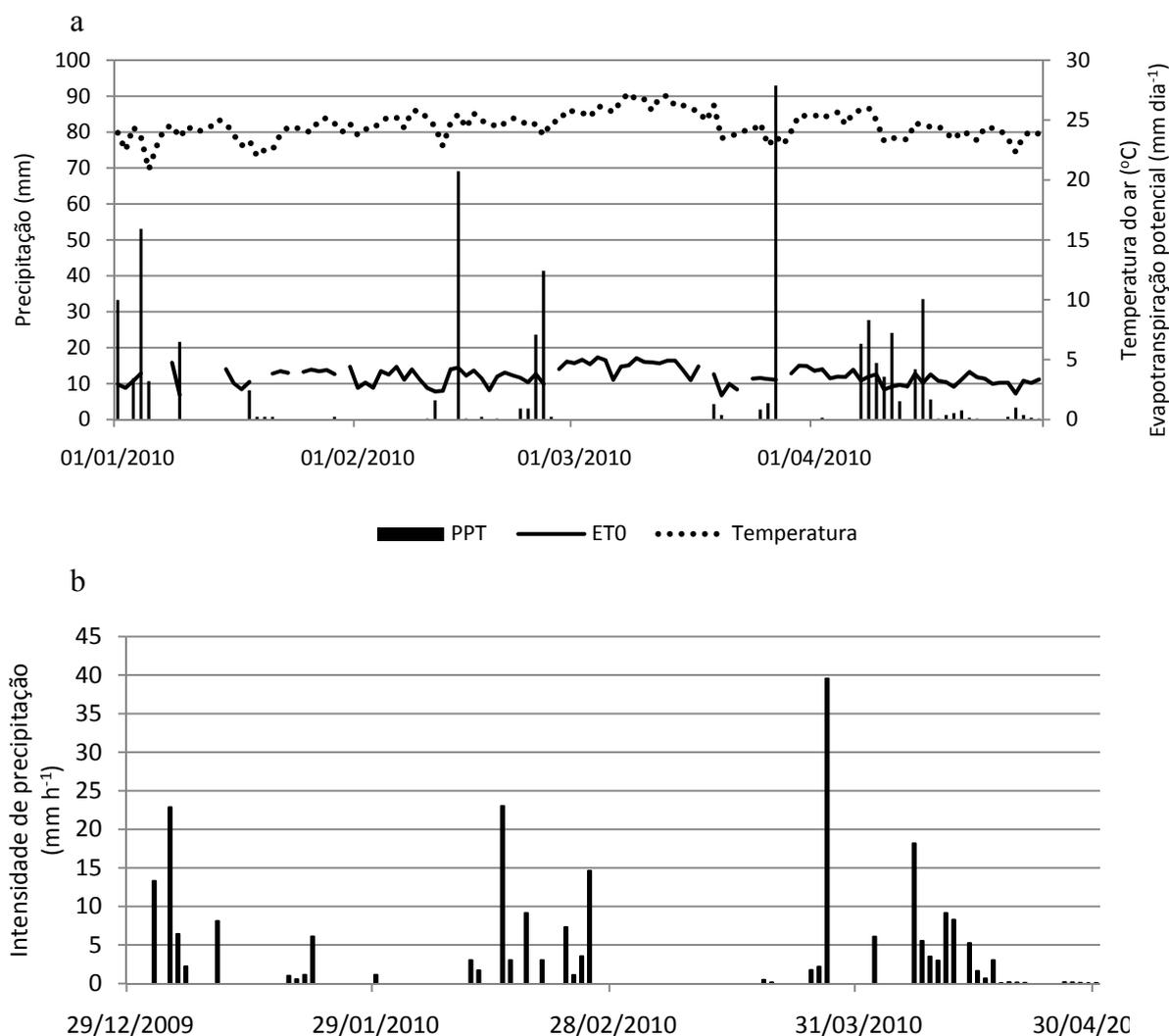


Figura 15. Distribuição da lâmina precipitada, temperatura, evapotranspiração potencial (a) e da intensidade de precipitação (b) ocorrida durante o período de estudo, na área experimental II.

Na Figura 16 apresenta-se o comportamento temporal da umidade do solo para o mês de Janeiro; neste mês a precipitação total foi de 141,21 mm. No início do mês, o solo se encontrava com valor inferior à umidade do solo no ponto de murcha permanente teórico ($0,98 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Com a precipitação ocorrida em 01/01, a umidade do solo, na condição de solo sob cobertura natural, elevou-se à $0,52 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Observa-se que este valor de umidade é superior à porosidade do respectivo solo encontrada em laboratório, a qual foi subestimada em 35%. Devendo-se então levar em consideração o valor de 52%, como a porosidade do solo, estimado pelo equipamento TDR. Enquanto condição de cobertura natural apresentou aumento de 416,66% no teor de água no solo, as demais condições apresentaram incrementos de 59,42, 56,25 e 128,07% para palma forrageira, barramento associado à cobertura morta e solo descoberto, respectivamente. Este comportamento é evidenciado pelo volume escoado nas parcelas experimentais

(Tabela 5), onde se verifica que a condição de solo sob cobertura natural é o único tratamento que não apresenta escoamento superficial. Deve-se ressaltar que, neste mês, a cobertura natural estava desprovida de folhas, o que minimizou a interceptação, e favoreceu o umedecimento do solo.

A lâmina precipitada em 03/01 não gerou aumento de umidade do solo em nenhuma das condições; porém, associada à precipitação ocorrida em 04/01 de 53,08 mm, a umidade do solo se elevou à umidade de saturação, gerando escoamento superficial, sendo esta perda mais elevada para o solo sob cobertura natural, uma vez que o solo se encontrava com umidade de saturação.

Após este período, o solo volta a entrar em processo de umedecimento com a precipitação ocorrida no dia 09/01, que apesar de possuir baixa intensidade ($8,1 \text{ mm h}^{-1}$), o solo apresenta rápido umedecimento devido ao fato de apresentar umidade antecedente elevada. O que pode ser verificado na Figura 16, onde se observa geração de escoamento superficial em todos os tratamentos, sendo mais elevado para a condição de solo sob cobertura natural, que mais uma vez apresentava-se com umidade mais elevada em relação às demais condições.

Em seguida o solo, apresenta decaimento de umidade progressivo até o final do mês. As condições de superfície cobertura natural, palma forrageira, barramento associado à cobertura morta e solo descoberto, apresentam respectivamente as seguintes reduções de umidade do solo: 82,60; 72,72; 45,45 e 60%. A maior perda para o solo sob cobertura natural pode ser explicada pelo fenômeno da evapotranspiração ser mais acentuado nesta condição, que possui espécies arbustivas, e já apresentava recuperação do seu tecido foliar.

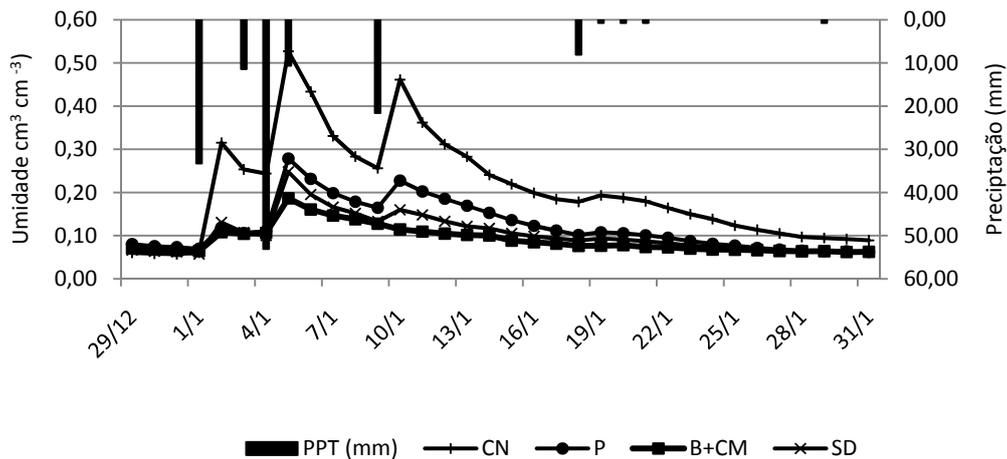


Figura 16. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, para o mês de janeiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

Em fevereiro (Figura 17), o solo retorna a valores de umidade abaixo do ponto de murcha permanente até o dia 14/02, quando precipita uma lâmina de 69,09 mm, que eleva a umidade do solo apenas nas condições de solo sob cobertura natural e no solo cultivado com palma forrageira, não havendo resposta em termos de elevação de umidade do solo para as condições de solo descoberto e barramento associado à cobertura morta. Há escoamento superficial (Tabela 6) para todas as condições de superfície, exceto para a condição de cobertura natural.

Com as precipitações ocorridas entre 22 e 25/02, todas as condições de superfície respondem à precipitação, com o menor incremento de umidade do solo apresentado pela condição de barramento associado à cobertura natural; este tratamento, juntamente com solo descoberto, apresentam as maiores lâminas escoadas.

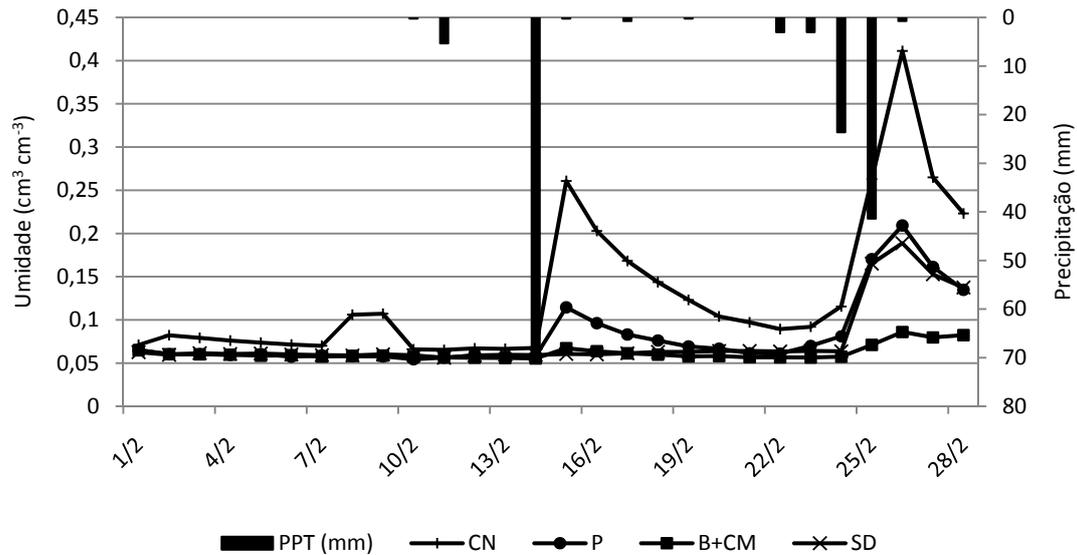


Figura 17. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, para o mês de fevereiro de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

O mês de março (Figura 18) foi quando se teve o menor total precipitado, 105,92 mm. Deste total, 87,76% precipitou em apenas um dia, correspondente ao dia 27/03, com uma intensidade de precipitação igual a 39,57 mm/h. Para este evento, todas as condições de superfície apresentam elevação do valor da umidade do solo, sendo este aumento mais acentuado para o solo sob cobertura natural e palma forrageira, os quais atingiram a umidade de saturação, gerando escoamento superficial. Para este evento, a maior lâmina escoada foi para o solo descoberto, onde 31,6% da lâmina precipitada foi perdida por escoamento superficial. Os valores de escoamento superficial estão apresentados na Tabela 5.

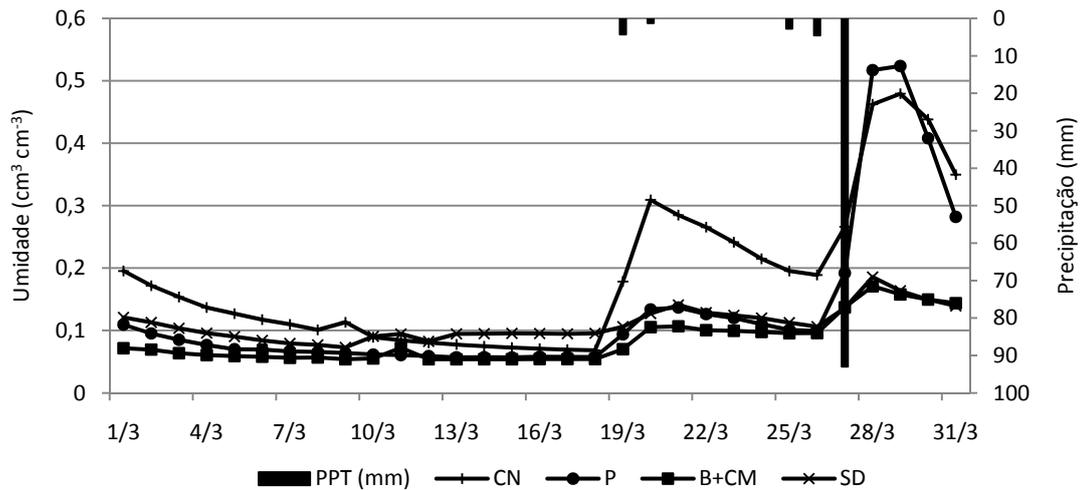


Figura 18. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, para o mês de março de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

O mês de abril além de apresentar o maior total precipitado (171,96 mm) durante o período experimental, também foi o mês que apresentou chuvas melhores distribuídas ao longo do mês. Observando-se a Figura 19 verifica-se a manutenção da umidade elevada no tratamento cobertura natural, durante praticamente 15 dias com umidade do solo em nível de saturação, apresentando escoamento superficial durante este período.

Com relação ao comportamento do tratamento barramento associado à cobertura morta, não se obteve resposta deste tratamento nos meses anteriores, podendo ser explicado pela elevada densidade da cobertura implementada, em torno de $7,04 \text{ Mg ha}^{-1}$, a qual não permitiu que as precipitações ocorridas atingissem a profundidade de 20 cm em que a sonda estava instalada. No mês de abril, devido à distribuição mais homogênea da precipitação este tratamento apresentou melhores respostas nos valores da umidade do solo.

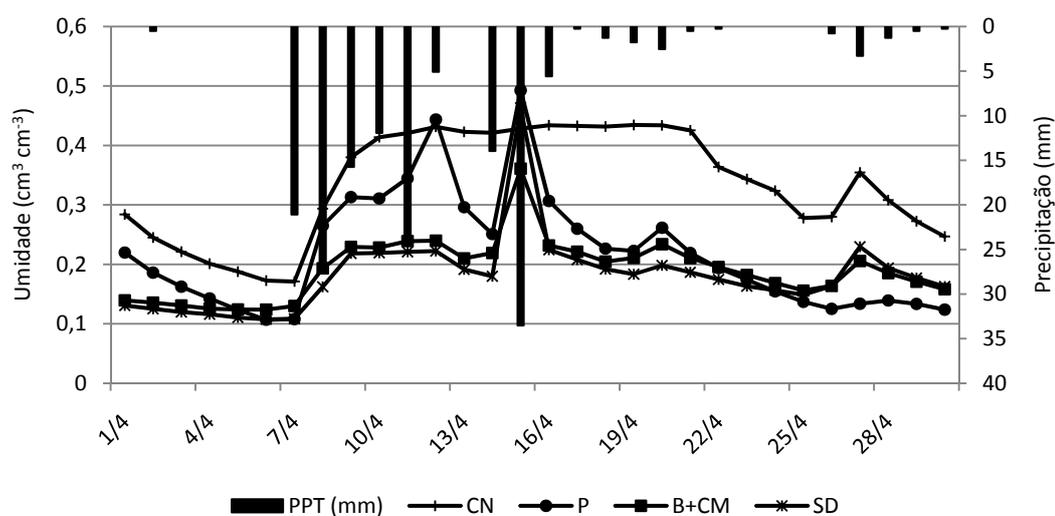


Figura 19. Distribuição da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, para o mês de abril de 2010, em resposta aos eventos de precipitação sob diferentes condições de superfície. CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

Tabela 6. Dados de precipitação e volume escoado nas parcelas experimentais durante período experimental.

Data	Tratamento	Precipitação (mm)	Lâmina escoada (mm)	Perda em % da chuva
02/01/10	D	33,27	5,49	16,49
	B+CM	33,27	6,82	20,50
	P	33,27	6,79	20,40
	CN	33,27	0,00	0,00
05/01/10	D	53,08	4,21	7,94
	B+CM	53,08	2,02	3,81
	P	53,08	3,55	6,69
	CN	53,08	19,36	36,47
10/01/10	D	21,59	2,00	9,29
	B+CM	21,59	1,50	6,95
	P	21,59	3,18	14,72
	CN	21,59	7,29	33,77
15/02/10	D	69,09	9,11	13,19
	B+CM	69,09	3,28	4,75
	P	69,09	2,94	4,26
	CN	69,09	0,00	0,00
26/02/10	D	41,40	2,19	5,28
	B+CM	41,40	0,06	0,16
	P	41,40	0,01	0,03
	CN	41,40	0,00	0,00

Continuação. Tabela 6.

27/03/10	D	92,97	29,41	31,63
	B+CM	92,97	0,28	0,30
	P	92,97	4,15	4,46
	CN	92,97	20,26	21,79
08/04/10	D	21,08	4,19	19,88
	B+CM	21,08	0,18	0,85
	P	21,08	0,05	0,26
	CN	21,08	0,00	0,00
09/04/10	D	27,69	0,73	2,63
	B+CM	27,69	0,07	0,24
	P	27,69	0,01	0,03
	CN	27,69	0,00	0,00
11/04/10	D	11,94	0,00	0,00
	B+CM	11,94	0,00	0,00
	P	11,94	0,00	0,00
	CN	11,94	0,00	0,00
12/04/10	D	24,13	4,88	20,24
	B+CM	24,13	0,03	0,11
	P	24,13	0,15	0,61
	CN	24,13	13,52	56,02
16/04/10	D	33,53	26,58	79,29
	B+CM	33,53	8,92	26,60
	P	33,53	13,69	40,84
	CN	33,53	13,25	39,53

CN- cobertura natural; SD- solo descoberto; B+CM- barramentos associados à cobertura morta; P- palma forrageira.

A Tabela 7 apresenta os valores de umidade do solo por tratamento e por dias referentes à ocorrência da precipitação, analisados a partir do dia anterior à chuva até seis dias após a ocorrência do evento. Observa-se que, em média, a umidade do solo anterior à ocorrência da precipitação apresenta-se sem diferença estatística para os tratamentos palma, solo descoberto e barramento associado à cobertura morta.

Tabela 7. Médias das umidades do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico para as diferentes condições de superfície, estudadas em dias subsequentes à ocorrência da precipitação.

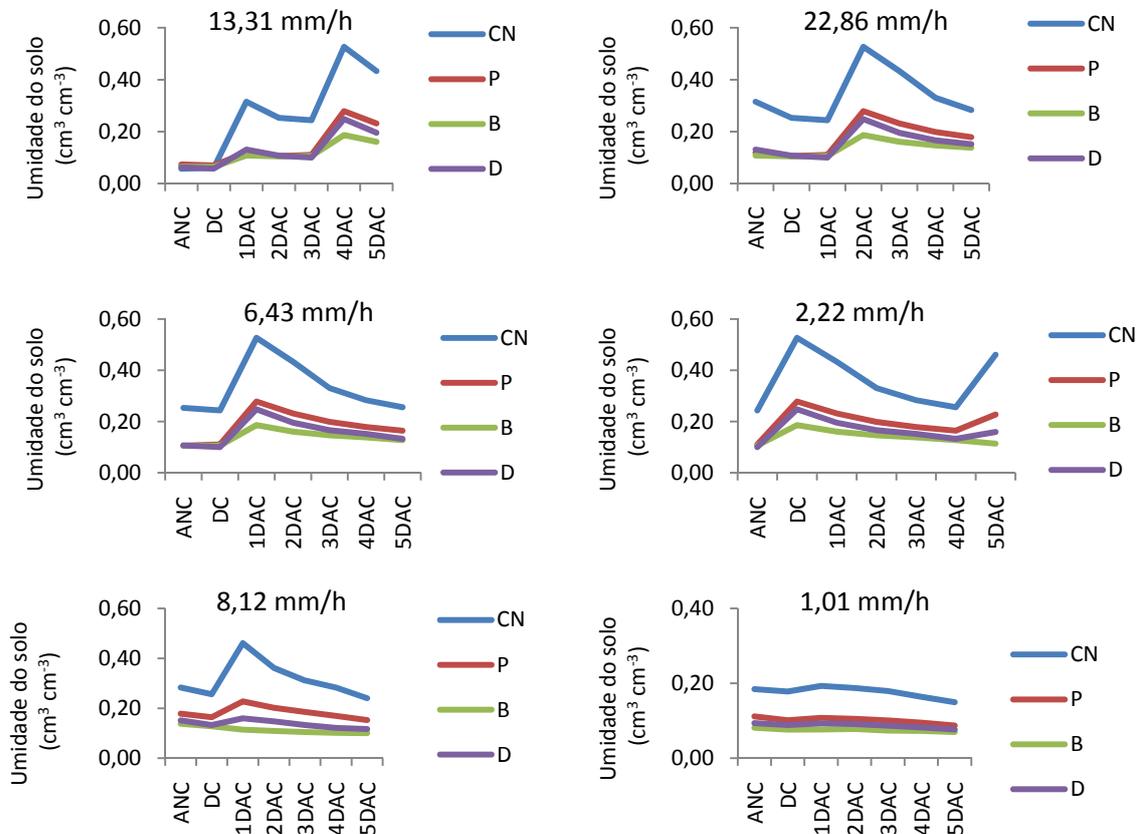
Tratamento	ANC	DC	1 DAC	2 DAC	3 DAC	4 DAC	5 DAC	6 DAC
CN	0,226 ⁽¹⁾ a	0,264 a	0,369 a	0,369 a	0,333a	0,326 a	0,317 a	0,305 a
P	0,138 b	0,186 b	0,260 b	0,239 b	0,212 b	0,227 b	0,204 b	0,182 b
SD	0,116 b	0,153 b	0,187 c	0,172 c	0,156 c	0,176 c	0,152 c	0,143 bc
B+CM	0,118 b	0,141 b	0,160 c	0,152 c	0,147 c	0,159 c	0,145 c	0,138 c

⁽¹⁾Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. B+CM- barramento associado a cobertura morta; P- palma forrageira; CN- cobertura natural e SD- solo descoberto. AC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva.

O tratamento cobertura natural apresenta a maior média de umidade em relação aos demais tratamentos em todos os dias de observação. A palma forrageira apresentou-se mais eficiente na manutenção da umidade do solo à medida que o solo encontrava-se em processo de secamento, verifica-se na Tabela abaixo que, após ocorrido o evento, este tratamento mantém a umidade superior até o quinto dia, e a partir do sexto dia a umidade volta a se igualar ao solo descoberto.

Na Figura 20 encontram-se os diferentes perfis de intensidade de precipitação ocorridos durante os meses de observação. Os perfis 3, 4, 5, 6, 8, 12, 13, 14 e 15 representam intensidades de precipitação inferiores a 10 mm/h; de forma geral, estes perfis apresentam aumento de umidade quando a lâmina precipitada é elevada, associada à umidade antecedente elevada também. Como o caso do perfil 15 que tem intensidade de 1,65 mm/h, porém lâmina de 33 mm, enquanto que o perfil 6 de praticamente mesma intensidade, porém com 8 mm de lâmina precipitada não apresentando alteração no teor de água no solo.

Os perfis 1, 2, 7, 9, 10 e 11 representam os perfis de alta intensidade. Observa-se que a partir do perfil 12 o solo sob cobertura natural mantém a umidade do solo elevada.



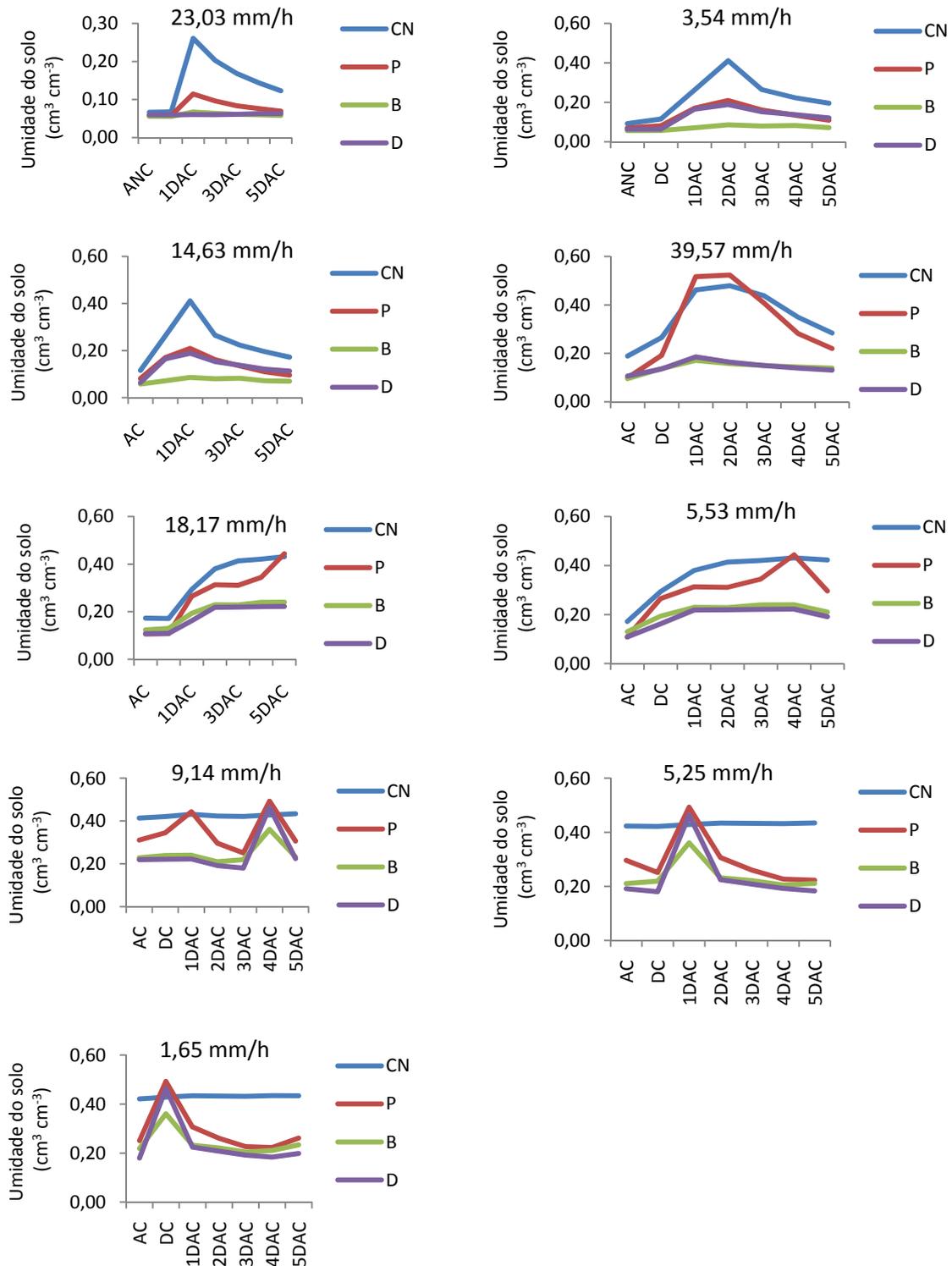


Figura 20. Comportamento da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto sob diferentes condições de superfície avaliadas sob as intensidades de precipitação ocorridas durante o período experimental. ANC- dia antes da chuva; DC- dia de ocorrência da chuva; DAC- dias após a ocorrência da chuva. CN- cobertura natural; D- solo descoberto; B- barramento; P- palma.

Na Figura 21 são apresentadas as distribuições de freqüências relativas dos valores da porcentagem de umidade do solo. Observa-se nesta figura que os tratamentos palma e cobertura natural apresentam os maiores valores de umidade do solo.

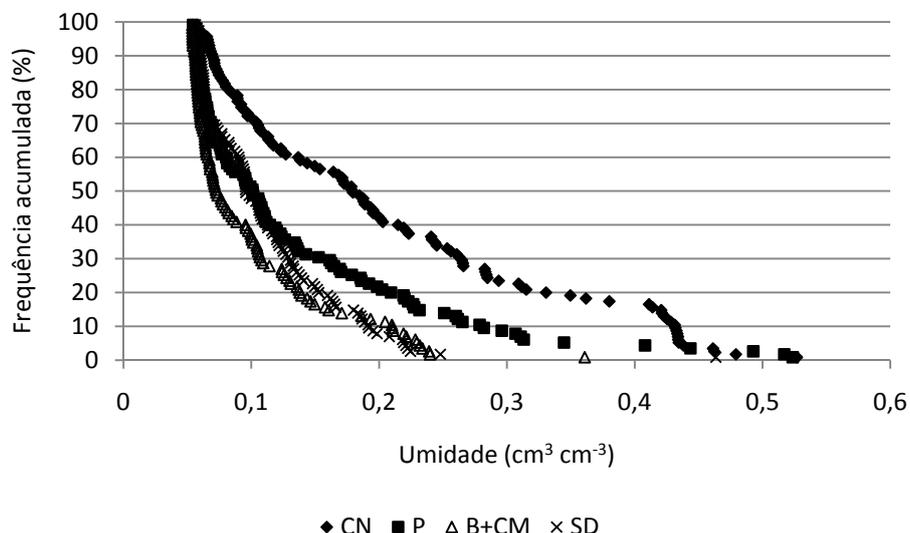


Figura 21. Frequência acumulada para os dados de umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto durante todo o período experimental.

Observa-se na Tabela 8 que durante o período experimental mais de 45% das umidades do solo apresentaram-se não efetivas para as condições de solo sob barramento associado à cobertura morta, palma e solo descoberto. Este parâmetro apresentou-se elevado para a condição de solo sob cobertura natural, onde mais de 60% dos valores de umidade apresentaram critério de extrema efetividade a efetividade de alta a moderada.

Tabela 8. Efetividade relativa (%) da água no solo sob diferentes condições de superfície.

Tratamento	>1	0,75-1	0,5-0,75	0,25-0,5	0-0,25	<0
CN	56,14	2,63	2,63	5,26	5,26	28,07
P	29,82	1,75	3,51	5,26	11,40	48,24
B+CM	15,78	2,63	6,14	3,51	9,65	62,28
SD	19,29	4,38	7,89	8,77	8,77	50,87

CN- cobertura natural; P-Palma; B+CM- barramento associado à cobertura morta; SD- solo descoberto

Na área experimental I a prática conservacionista mais eficiente foi o emprego de barramentos em pedra associado à cobertura morta, enquanto que na área experimental II o cultivo da palma forrageira disposta em barreiras mostrou-se mais eficiente. Esta diferenciação pode estar associada à densidade da cobertura morta que era mais elevada

na área II, com valor de 7,04 Mg ha⁻¹, enquanto que na área I era de 6,18 Mg ha⁻¹. Outro fator está associado à microtopografia das parcelas, uma vez que foi observado em campo que as sondas localizadas na área I encontram-se em algumas depressões do terreno, além da localização das sondas. Com efeito, observou-se em campo que as sondas localizadas na área I encontram-se após os barramentos instalados nas parcelas, enquanto que as sondas pertencentes a área II encontram-se localizadas antes do barramento.

Outro fator relevante está relacionado com o tipo de solo. Observando-se a tabela I, que apresenta as características físicas dos solos estudados, verifica-se que o solo experimental da área I apresenta elevada porcentagem de argila na segunda camada e densidade do solo mais elevada em relação à área experimental II, o que pode justificar a maior retenção de umidade nesta camada em relação ao solo da área experimental II.

Segundo Buckman & Brady (1979), a areia possui reduzida capacidade de retenção de água, causado pelo grande espaço entre as partículas granulométricas e o rápido escoamento de água de percolação.

Com o aumento da proporção de areia no solo, há menor capacidade de retenção de água, além disso, conforme Klar (1988), a argila possui maior superfície específica que a areia. A argila pode reter maior quantidade de água que as demais partículas do solo. Nos solos argilosos predomina a criptoporosidade, a qual é responsável pela retenção da água no solo (Kiehl, 1979). Para esse autor, o silte e a argila podem ser englobados em uma só discussão, por ser constituídas de partículas finas.

Análise da dependência temporal:

A dependência temporal da umidade na área II foi estudada, para as diferentes coberturas, segundo os mesmos critérios adotados na área I. Segundo a Figura 22, as umidades para o tratamento CM+B apresentam o mais elevado intervalo de tempo de correlação, de forma semelhante à análise para a área I. Este resultado é um indicativo da alta dependência temporal dos dados de umidade sob cobertura morta (para as duas áreas), ou seja, realça o potencial da cobertura (consorciada com o barramento) na manutenção da umidade do solo, ao controlar os aportes da chuva, e ao mesmo tempo reduzir as taxas de perda de umidade por evapotranspiração. A condição de cobertura que apresentou o menor alcance foi o da palma, estando relacionado a uma maior dinâmica de umidade neste tratamento.

Cabe salientar o elevado efeito pepita observado para o tratamento de solo descoberto, e assim uma maior variabilidade para tempos curtos (menores que um dia). Para esta parcela, seria então recomendável investigar a variação em escala de horas. Embora possível para este estudo, uma vez que as sondas estão programadas para registrar dados horários, tal procedimento está além do escopo desta análise, que visa investigar as escalas de dependência temporal e suas similaridades, e não será realizada aqui. Deve-se comentar que, embora semelhantes para as duas áreas experimentais, os semivariogramas escalonados da área II apresentam menor comportamento periódico, indicando assim uma menor variabilidade de longa escala (conforme discutido em Journel & Huijbregths, 1978), possivelmente por esta última se tratar de uma série temporal mais longa. Com efeito, a área experimental I foi implementada em 2009, e submetida a vários testes de comportamento hídrico, enquanto a área II foi apenas instalada em 2010, após obtenção de estabilidade e confiabilidade das leituras com a TDR.

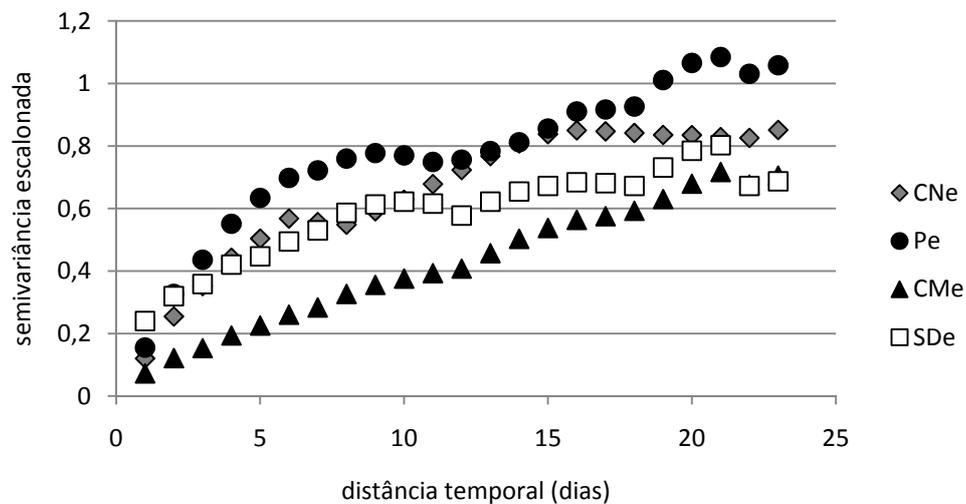


Figura 22. Semivariogramas temporais escalonados da umidade do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico na área experimental II, em função do tipo de cobertura da superfície.

O comportamento temporal da umidade tem indiscutível relevância para as técnicas conservacionistas, bem como para o equilíbrio ecológico da região semiárida. Com efeito, a dinâmica da caatinga interfere nos fenômenos hidrológicos, principalmente a sazonalidade do tecido vegetal dessa cobertura. Evidências e estudos (por exemplo, Albuquerque et al., 2002) apontam para uma rápida recuperação da vegetação após o início das chuvas, estando tal recuperação intimamente relacionada à

persistência de umidades elevadas no solo, o que em última análise é associada aos alcances dos semivariogramas temporais. De posse do exposto, buscou-se caracterizar um semivariograma temporal médio, representativo de ambas as áreas experimentais. Nota-se uma relativa semelhança entre os dois semivariogramas, produzindo um semivariograma médio estável, e praticamente sem efeito periódico. A Figura 23 ilustra os semivariogramas experimentais, assim como um semivariograma teórico exponencial, com coeficiente de determinação de ajuste $R^2=0,91$. Notam-se os parâmetros do semivariograma teórico, com destaque para o alcance temporal de 18 dias encontrado neste estudo. Espera-se que tal informação possa ser útil em estudos de modelagem hidrológica, bem como forneça subsídios e referencial para futuros estudos de mudança climática na região.

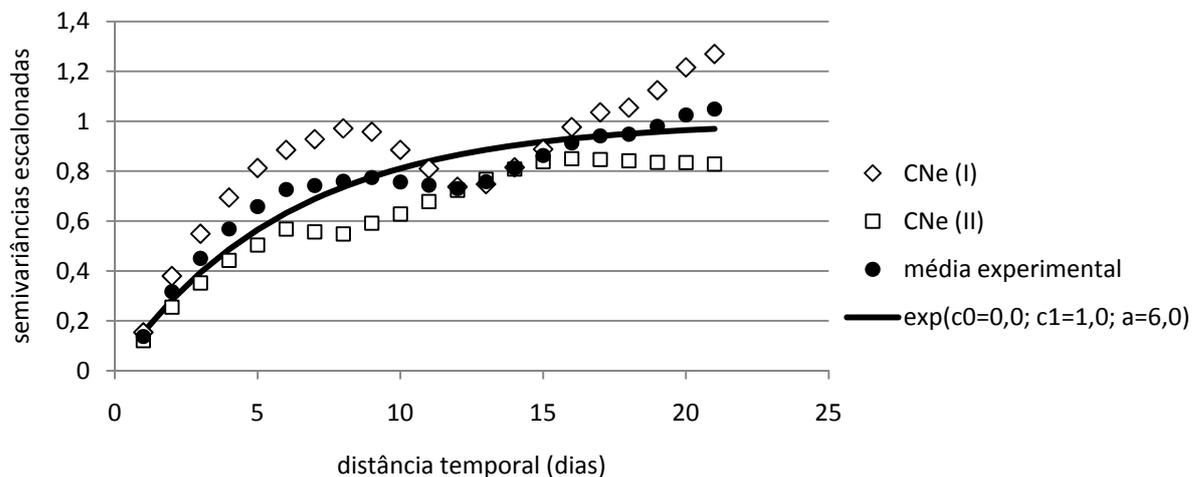


Figura 23. Semivariogramas temporais experimentais e teórico para a caatinga presente nas áreas experimentais I e II, e relativo ao período de Dezembro de 2009 a Abril de 2010.

CONCLUSÕES

1. A umidade do solo observada durante o período experimental apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo.
2. A cobertura morta apresentou ser a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo na encosta localizada sob Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Área experimental I), enquanto que a palma forrageira é a

prática mais indicada para conservação da água em Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

3. A umidade do solo foi mais dependente da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FACEPE e FINEP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; NETO, F. L.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.1, p.136-141, 2002.

AMPOFO, E.A. Soil moisture dynamics in Coastal Savanna soils in the tropics under different soil management practices. Hyd. Sci., 51: 1194-1202, 2006.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.1, p.711-721, 1999.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedade dos solos. 5 ed. Trad. A. B. N. Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1979. 647p.

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. Journal of Hydrology, n.285, p.199-214, 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, China. Catena, v.70, p.200-208, 2007.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.75-98.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1)

FERNANDÉZ, J.E.; SLAWINSKI, C.; MORENO, F.; WALCZAK, R.T. VANCLOOSTER, M. simulating the fate of water in a soil-crop system of a semiarid Mediterranean area with the WAVE 2.1 and the EURO-ACCESS-II models. *Agricultural Water Management*, v.56, p.113-129, 2002.

GALINDO, I.L.; RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M.F.A.V.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F.A.L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1283-1296, 2008

GALINDO, I.C.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Uso da palma na conservação dos solos. In: Menezes, R.S.C. Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária, 2005, 163-176p.

GRECO, R.; GUIDA, A. Field measurements of topsoil moisture profiles by vertical TDR probes. *Journal of Hydrology*, n.348, p.442-451, 2008.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, J. *Mining geostatistics*, Academic Press, 1978, 599p.

KIEHL, E.J. *Manual de edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLAR, A.E. *A água no sistema solo – planta – atmosfera*. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

PAN, Y.X; WANG, X.P; JIA, R.L.; CHEN, Y.W.; HE, M.Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. *Journal of Arid Environments*, v.72, p.1975-1983, 2008.

PORPORATO, A.; D'ORICO, P.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of water-controlled ecosystems. *Advances in Water Resources*, v.25, p.1335-1348, 2002.

RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Impact of land leveling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, v.321, p.131-146, 2006.

ROBERTSON, G.P. *GS⁺: Geostatistics for the environmental sciences - GS⁺ User's Guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

RICHARD, M., PETRONE, J.S., PRICE, S.K., WADDINGTON, J.M. Statistical characterization of the spatial variability of soil moisture in a cutover peatland. *Hydrological Processes*, v.18, p.41–52, 2004.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Am. Soc. Agr., p.128-152. 1965.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; PEDROSA, M.E.R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.3, p.217–225, 2009.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. ; SILVA, J. R. L.; MATTOS, I. P. Efeito das condições de superfície na erosão e umidade do solo. In: XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2009, Campo Grande. anais do XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2009.

SANTOS, T. E. M. ; MONTENEGRO, A. A. A. ; SILVA JÚNIOR, V. P. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. . Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, p. 29-39, 2008.

SAS. The SAS System for windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary: 1998. CD-ROM.

SILVA, A.B.; RESENDE, M.; SOUSA, A.R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no agreste pernambucano. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, fev. 1999.

SILVA, A.N.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, G.B.A. Efeito das mudanças climáticas no armazenamento de água em diferentes solos do agreste pernambucano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 9. 2008. Anais. Salvador, ABRH, 2008. CD-ROM.

STATSOFT. Statistica: data analysis software system; version 6. [S. L.], 2001.

Van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. Jour., 44:892-898, 1980.

CONCLUSÕES GERAIS

1. A condição de superfície influenciou expressivamente a variação do teor de umidade do solo tanto no período seco como no chuvoso.
2. A presença de vegetação natural proporcionou a manutenção de maiores valores de umidade no solo em relação aos demais tratamentos, durante todo o período chuvoso.
3. O efeito da evapotranspiração nos tratamentos com cobertura vegetal foi evidenciado de maneira expressiva no período seco.
4. A utilização de cobertura morta, associada ao emprego de barramentos em pedra, proporcionou manutenção de elevados valores de umidade no solo e incrementou a produtividade do cultivo de sequeiro do feijoeiro.
5. A umidade do solo observada durante o período experimental apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo.
6. A cobertura morta apresentou ser a prática conservacionista mais adequada para manutenção da umidade do solo na encosta localizada sob Argissolo Amarelo Eutrófico típico, enquanto que a palma forrageira é a prática mais indicada para conservação da água em Argissolo Amarelo Eutrófico abráptico.
7. A umidade do solo foi mais dependente da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente.