

THAIS EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E SOLO EM
BACIA EXPERIMENTAL DO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO**

THAIS EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E SOLO EM
BACIA EXPERIMENTAL DO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador:

ABELARDO ANTÔNIO DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO

Recife, Dezembro de 2006

“Pois a sabedoria entrará no teu coração, e o conhecimento será aprazível à tua alma”.

Provérbios 2:10

A Deus,
Aos meus pais Eduardo e Vasti,
pelo amor e confiança em mim
depositados.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tem feito em minha vida, e pelas oportunidades concedidas.

Aos meus pais, pela dedicação constante em nos fazer felizes, e aos meus irmãos, pelo convívio harmonioso, por tudo!

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente ao Departamento de Tecnologia Rural, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Conselho nacional de pesquisa- CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao professor Abelardo Montenegro, pela oportunidade de trabalhar com a conservação do solo e da água, pelos conhecimentos e conselhos transmitidos.

À professora Izabel Galindo, pela atenção e bibliografia disponibilizada.

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em especial à professora Elvira, pela orientação na análise estatística, e ao professor Mário Rolim, pelos conselhos e alegria de sempre.

Aos colegas da primeira turma de mestrado em Engenharia Agrícola da UFRPE: Albert, Sérgio, Anildo, Márcio, Daniella, pelo convívio e momentos de descontração, especialmente “Feliz”, “Driana” e George pelo sorriso de cada dia.

Aos demais colegas do mestrado Aérika, Jussálvia, Lígia, Michelle, Pedro, pelas horas de convivência.

A todos os colegas orientados do professor Abelardo: Tafnes, Eduardo, Betinho, Ana Paula, Isaac, Adriano, Edivan, Júlio, Edimilson, Manoel, especialmente Valdemir Júnior, por me acompanhar em todas as viagens de campo, e superarmos os desafios encontrados na realização das simulações de chuva.

Ao sr. Vivaldo, sr. Pedro e Roberto, agricultores de Pesqueira, por permitir a realização deste trabalho em sua área e pela ajuda na coleta dos dados.

Ao laboratorista Anacleto, pela ajuda nas análises, e pelo convívio.

Aos colegas do laboratório de fertilidade do solo, especialmente João Paulo e Vinícius pelo auxílio na execução das análises.

Aos funcionários da diretoria do DTR, Lulinha, Nana, Bartô, especialmente à Sônia, pela paciência na hora de marcar as viagens de campo, e ao motorista Ricardo.

A José de Almeida, pelo companheirismo, carinho, incentivo e ajuda constantes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Erosão do solo.....	5
3.2 Infiltração da água no solo.....	7
3.3 Manejo do solo.....	9
3.4 Matéria orgânica no solo.....	12
3.5 Simuladores de chuva.....	13
3.6 Hidráulica do escoamento em entressulcos.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 Características da área de estudo.....	16
4.2 Descrição do experimento.....	18
4.3 Avaliação das taxas de perda e desagregação do solo.....	24
4.4 Avaliação das características hidráulicas.....	24
4.5 Avaliação da porcentagem de cobertura vegetal do solo	26
4.6 Matéria orgânica no solo.....	27
4.7 Análise estatística.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 Efeitos isolados.....	29
5.2 Interação significativa.....	32
5.3 Perda de carbono orgânico.....	41
6 SÍNTESE.....	45
7 CONCLUSÕES.....	47
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

9 ANEXO..... 58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de classificação dos regimes de escoamento gerados durante as simulações de chuva.....	15
Figura 2	Localização a nível de bacia hidrográfica da área de estudo.....	16
Figura 3	Mapa de solos da Bacia Representativa. Fonte: Corrêa & Ribeiro (2001).....	17
Figura 4	Esquema experimental dos tratamentos em campo.....	19
Figura 5	Disposição dos cordões de pedra em campo.....	20
Figura 6	Feijão cultivado morro abaixo.....	20
Figura 7	Cobertura morta distribuída sobre as parcelas experimentais.....	21
Figura 8	Representação esquemática das parcelas experimentais.....	22
Figura 9	Simulador de chuvas utilizado nos testes de erosão.....	23
Figura 10	Quadro padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica.....	26
Figura 11	Representação da cobertura vegetal nos tratamentos: (a) feijão em nível + cobertura morta, (b) feijão em nível + microbarramentos, (c) feijão sob a condição morro abaixo e (d) solo descoberto.....	27
Figura 12	Relação entre as perdas de solo e a taxa de cobertura vegetal nos diversos tratamentos analisados.....	36
Figura 13	Taxas de infiltração obtidas para as diferentes formas de manejo do solo durante ciclo do feijoeiro.....	40
Figura 14	Escoamento superficial para as diferentes formas de manejo do solo, durante ciclo do feijoeiro.....	41
Figura 15	Perda de Carbono orgânico para cada tratamento estudado.....	43
Figura 16	Relação entre as perdas de carbono orgânico e de solo nos tratamentos estudados.....	44
Figura 17	Distribuição da precipitação natural (mm) e da evapotranspiração para os meses de abril a outubro, época de realização do experimento em campo.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características físicas do solo na área experimental.....	18
Tabela 2	Atributos químicos na camada de 0–0,20 m de profundidade do Neossolo Flúvico.....	18
Tabela 3	Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr), descarga líquida, altura, velocidade de escoamento (V) e viscosidade cinemática para as diferentes práticas conservacionistas estudadas.....	32
Tabela 4	Perda de solo e taxas de desagregação, para as diferentes práticas conservacionistas estudadas.....	32
Tabela 5	Médias de perda de água (% da chuva aplicada) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	33
Tabela 6	Coefficientes de rugosidade de Manning ($s\ m^{-1/3}$) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	35
Tabela 7	Cobertura vegetal (%) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	36
Tabela 8	Umidade inicial (%) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	37
Tabela 9	Tempo de início do escoamento (min) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	38
Tabela 10	Taxa de infiltração básica (mm/h) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	39
Tabela 11	Escoamento superficial (mm/h) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.....	40
Tabela 12	Teores de carbono existentes no solo, no sedimento, as perdas deste nutriente e suas respectivas taxas de cobertura vegetal existente em cada tratamento.....	43

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E SOLO EM BACIA EXPERIMENTAL DO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO⁽¹⁾

Autora: Thais Emanuelle Monteiro dos Santos

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

RESUMO

O solo é um dos recursos naturais mais intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, em decorrência de seu uso e manejo inadequados. A erosão além de transportar partículas do solo, também transporta matéria orgânica, importante fator para disponibilidade de nutrientes às plantas. Neste sentido este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água por erosão hídrica, num Neossolo Flúvico do Semi-árido Pernambucano, com a finalidade de se obter uma recomendação de manejo simples e de baixo custo, para os agricultores, que seja eficaz na redução da erosão hídrica do solo. Para isto foram aplicadas chuvas simuladas com intensidades entre 54 e 60 mm/h sobre os seguintes tratamentos: feijoeiro em nível (N1) com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio do feijoeiro, no espaçamento de 0,5 m; feijoeiro cultivado em nível (N2) com barramentos de pedra no espaçamento 1,0 m; feijoeiro cultivado morro abaixo (MA); feijoeiro em nível com cobertura morta (CM), onde a cobertura utilizada foi palha de feijão; desmatada (D) e cobertura natural (N). As taxas erosivas foram calculadas a partir das coletas do material da enxurrada. Dentre os tratamentos avaliados, a cobertura morta permitiu, em média, redução de 86,91% nas perdas de solo, com valores próximos ao da condição ideal de cobertura, que é a condição natural. Os resultados do total de carbono orgânico perdido nos sedimentos das condições sem prática conservacionista revelaram quantidades significativas de carbono sendo transportadas para as partes mais baixas do terreno. As condições CM e CN apresentaram redução de 94,73 e de 98,70% em relação à parcela desmatada. Dentre as práticas conservacionistas estudadas, a cobertura morta apresentou maior redução da erosão do solo.

EVALUATION OF TECHNIQUES OF WATER AND SOIL CONSERVATION IN A EXPERIMENTAL BASIN IN THE PERNAMBUCO SEMIARID⁽¹⁾

Author: Thais Emanuelle Monteiro dos Santos

Advisor: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

ABSTRACT

The soil is one of the natural resources more intensely used for food production, being subject to have its productive capacity reduced by the erosion, as a result of its inadequate use and management. The erosion not only carries particles from the soil, but also carries organic matter, important factor to nutrients availability to the plants. Hence this work aimed to evaluate the influence of conservation practices for the soil and water losses by the hydric erosion, in a Fluvic Neossol in the semiarid zone of Pernambuco State, with the purpose of producing simple and low cost recommendations, for the local farmers, appropriate and efficient in reducing the hydric erosion. Simulated rain with intensities between 54 and 60 mm/h have been applied on the following treatments: bean cultivated in level (N1) with rock barriers between each row of plantation, in the spacing of 0.5 m; bean cultivated in level (N2) with rock barriers in the spacing of 1.0 m; bean planted downslope (DS); bean planted in level with mulching cover (MC), using bean straws; cleared bare soil (CB) and natural covering (CN). The erosive values had been calculated from the collections of the runoff material. Amongst the evaluated treatments, the mulched cover, on average, exhibit reduction of 86,91% in the soil losses, with values close to the one to the ideal condition of covering, which is the natural condition. The results of the total organic carbon lost in the sediments of the treatment without conservation practice had presented significant amounts of carbon being carried out to the lower parts of the plot. Conditions MC and CN had presented reduction of 94.73 and 98.70% in relation to the cleared bare soil plot. Amongst the conservation practice studied, the mulching cover presented the highest reduction in the soil erosion.

1. INTRODUÇÃO

Os fatores relacionados com a erosão hídrica são chuva, solo, cobertura vegetal e topografia. Dentre os quatro fatores mencionados, as chuvas, como fonte de energia, têm papel ativo no processo de erosão (Bertol et al., 2002). Nas condições do Brasil, localizado em grande parte na região tropical do planeta, onde ocorrem precipitações intensas e as temperaturas são normalmente elevadas, a erosão hídrica apresenta maior interesse, por ser a de ocorrência mais freqüente em relação aos demais tipos de erosão, se processar com maior rapidez e causar grandes prejuízos não só ao setor agrícola, como também a diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente.

O desprendimento e arraste das partículas do solo ocorrem quando há ruptura do equilíbrio natural existente no solo, e as forças advindas de fatores climáticos, como a chuva e o vento, passam a ser capazes de desequilibrar esse sistema. Associadas a outros fatores relativos às condições do terreno sobre o qual a chuva incide, essas forças determinam a intensidade do processo erosivo. Dentre os fatores relacionados às condições do terreno que interferem no processo erosivo, destacam-se a declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, a distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, a resistência do solo à ação erosiva da água e a percentagem de cobertura do solo existente à época da ocorrência da chuva. A erosão hídrica, causada pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial, envolve os processos de extração, transporte e deposição das partículas do solo, e sua intensidade depende de inúmeros fatores (Pereira, 2000).

O semi-árido brasileiro caracteriza-se por possuir limitadas condições físicas para a prática da agricultura e da pecuária. A ocorrência, nesta região, de chuvas escassas e irregulares, de secas freqüentes e de solos pedregosos ou muito arenosos dificulta a prática da agropecuária de maneira regular e com alta produtividade. Nesta região, a principal alternativa para o cultivo, além da prática da irrigação, é a agricultura de sequeiro feita com culturas como milho, arroz, feijão e outras, as quais são cultivadas de maneira arcaica e improdutiva, e o nível da sua produção está na dependência da quantidade de chuvas.

Dentre as culturas de sequeiro, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada no mundo, e o Brasil é seu maior produtor. O Feijão destaca-se também por ser uma importante fonte protéica na dieta humana. Apesar da baixa produtividade no país, em

torno de 850 kg ha⁻¹, o feijoeiro vem sendo explorado numa diversidade de sistemas de produção, obtendo-se produtividades superiores a 3 mil quilogramas por hectare (Yokoyama et al., 2002). Entre os vários sistemas de produção, destaca-se o plantio direto, que contribui para a melhoria da capacidade produtora do solo, conservando ou melhorando o ambiente (Farinelli et al., 2006).

Ultimamente, extensas áreas com esta cultura vêm sendo conduzidas no sistema plantio direto, na palhada da cultura anterior. A palhada na superfície do solo altera a relação solo-água, prevenindo a evaporação, e conseqüentemente permitindo maior disponibilidade de água para as plantas (Andrade et al., 2002), o que se torna importante pois segundo Gomes et al., (2000), quando o feijoeiro é cultivado sob condições de sequeiro e com deficiência hídrica, o componente da produção mais afetado é o número de vagens por planta.

O uso de práticas conservacionistas é uma das formas de controlar a erosão em terrenos onde os fatores chuva, solo e topografia favoreçam a aceleração do processo. Nas áreas onde ocorre a erosão laminar (entressulcos), em que a energia de impacto das gotas de chuva é fundamental no processo de desagregação, os resíduos vegetais na superfície podem reduzir consideravelmente a erosão hídrica. A erosão entressulcos, torna-se importante pelo transporte do escoamento superficial, por arraste e suspensão das partículas superficiais do solo desagregadas, onde se encontram a matéria orgânica e os nutrientes fundamentais para a produção agrícola.

Bertol et al. (2004) enfatizam que os preparos conservacionistas de solo, tal como semeadura direta, com menor revolvimento, mantém, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (Lal & Greenland, 1979). Silva et al. (2005b), analisando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo para diferentes percentagens de cobertura do solo, encontraram redução de 99% nas perdas de solo para um percentual de cobertura de 88%. Castro et al. (2006) encontraram 80% de perda de água nas parcelas sem cobertura vegetal em relação às com cobertura. Por esta razão, a cobertura do solo por resíduos culturais assume grande importância junto ao papel desempenhado pela rugosidade superficial em termos de

redução da erosão hídrica, uma vez que ela protege a superfície do solo contra a ação de impacto direto das gotas da chuva.

O uso do plantio em nível em substituição ao morro abaixo se tem mostrado eficiente no controle das perdas por erosão hídrica, como constataram Albuquerque et al. (2002). Esses pesquisadores, analisando os efeitos do manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas sobre perdas por erosão hídrica de um solo Bruno Não-Cálcico, encontraram redução de 53,4% para o cultivo em nível em relação àquele em desnível.

Além de elevadas perdas de solo e água, a erosão hídrica também é responsável pelo empobrecimento dos solos e pela redução da produtividade da maioria das culturas, com conseqüentes aumentos em seu custo de produção e na contaminação ambiental pelos resíduos de adubos e agrotóxicos. Em geral, as perdas de carbono orgânico por erosão hídrica são elevadas e podem-se constituir em importante fator de degradação do solo. Essa perda pode ser ocasionada pela sua oxidação no solo ou pela erosão, sendo ambos os processos agravados pelo sistema de preparo e manejo utilizado (Schick et al., 2000).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de práticas conservacionistas nas perdas de água e solo por erosão hídrica, num Neossolo Flúvico, na região Agreste de Pernambuco, com a finalidade de se obter uma recomendação de manejo simples e de baixo custo, para os agricultores da região semi-árida pernambucana, que seja eficaz na redução da erosão hídrica do solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o comportamento das condições hidráulicas do escoamento na produção de sedimentos na erosão em entressulcos;
- Avaliar as taxas erosivas produzidas por diferentes condições de cobertura do solo;
- Avaliar o desempenho de sistemas de captação in situ no controle do escoamento e erosão;
- Relacionar as perdas de carbono orgânico com as respectivas perdas de solo;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Erosão do solo

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas de solo causado pela ação da água (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica). No Brasil, a erosão hídrica apresenta maior interesse por ser de ocorrência mais freqüente, processar-se com maior rapidez e causar grandes prejuízos não só ao setor agrícola, como também a diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente (Pruski, 2006).

A erosão hídrica ocorre quando há ruptura do equilíbrio natural existente no solo e as forças advindas de fatores climáticos, como a chuva e o vento, passam a ser suficientes para desequilibrar esse sistema. Associadas a outros fatores relativos às condições do terreno sobre o qual a chuva incide, essas forças determinam a intensidade do processo erosivo. Dentre os fatores relacionados às condições do terreno que interferem no processo erosivo, destacam-se a declividade, a capacidade de infiltração do solo, a distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, a resistência do solo à ação erosiva da chuva e a percentagem de cobertura do solo existente à época da ocorrência da chuva (Pereira et al., 2003).

A erosão hídrica compreende três fases físicas distintas: desagregação, transporte e deposição. A desagregação é o processo de quebra e individualização das partículas da massa de solo, sendo causada, basicamente, pelo impacto direto das gotas da chuva contra a superfície do solo e pelo escoamento superficial. As partículas desagregadas salpicam com as gotículas de água e retornam à superfície, podendo vir a selar os poros superficiais, reduzindo a infiltração de água e, em alguns casos, aumentando a sua resistência à erosão pelas forças coesivas. À medida em que a intensidade da chuva passa a ser maior que a taxa de infiltração, tem início o escoamento superficial, dando início à segunda fase do processo, que é o transporte de sedimentos.

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. Parte do volume total precipitado é interceptado pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo. O empoçamento da água nas depressões existentes na superfície do solo começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração, ou quando a capacidade de acumulação de água no solo for ultrapassada. Esgotada a

capacidade de infiltração, a água começará a escoar. Associado ao escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo que sofrem deposição somente quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida (Pruski et al., 2006).

Quando a energia do escoamento superficial, que depende do volume e da velocidade da água, não é mais suficiente para transportar o material sólido em suspensão, esse se deposita, caracterizando, assim, a terceira fase (Reichert & Cabeda, 1992).

O processo de erosão entressulcos é bastante afetado pelas condições da superfície do solo, como existência de vegetação ou cobertura morta, rugosidade e declividade da superfície do solo (Alves Sobrinho et al., 2001); é usualmente mais seletiva do que a erosão em sulco (Meyer et al., 1975). Provavelmente, isto decorre do fato das pequenas partículas se originarem do rompimento dos grandes agregados pela intensidade das forças hidrodinâmicas do impacto da gota de chuva sobre o solo, bem como o rompimento dos agregados pelo efeito repetido do impacto das gotas de chuva sobre estes agregados durante a fase de transporte pelo fluxo e, ainda, devido ao efeito seletivo durante o próprio transporte (Foster, 1982). Proffitt & Rose (1991), citados por Bertol (2005), constataram que a erosão entressulcos pode ser mais seletiva do que a erosão em sulco. Assim, embora a perda de solo na erosão entressulcos possa ser menor do que na erosão em sulco, a alta concentração de nutrientes associados aos sedimentos finos indica que não se deve desprezar este tipo de erosão como mecanismo de transporte (Palis et al., 1990).

Os resíduos vegetais, além de proteger o solo contra o efeito desagregador da gota de chuva, são um meio eficaz para reduzir a concentração de sedimentos na enxurrada, por diminuírem a velocidade do escoamento superficial da água em razão da barreira física formada por eles. Em virtude disso, eles aumentam a tortuosidade do fluxo, impedindo assim que a água escoe livremente (Meyer & Mannering, 1971). Na passagem da água por entre as peças de resíduos, ocorre a filtragem dos sedimentos em suspensão na enxurrada (Foster, 1982). Assim, nas áreas depressionais formadas pelos resíduos, ocorre a deposição dos sedimentos por capturarem as partículas de sedimentos que estão sendo erodidas (Onstad, 1984).

Outro fator que interfere no processo de transporte de sedimentos, embora com menor intensidade no caso da erosão entressulcos, é a rugosidade superficial do solo. Superfícies mais rugosas terão a capacidade de quebrar a velocidade do fluxo superficial,

diminuindo assim, a enxurrada, na relação direta com o índice de rugosidade superficial, resultando num aumento da altura do escoamento (Carvalho, 1986; Braida & Cassol, 1999).

A erosão pode atingir níveis elevados, a ponto de inviabilizar a utilização agrícola da área erodida, especialmente quando ocorrem sulcos com mais de um metro de profundidade, chamados de voçorocas, que literalmente impedem o trânsito de máquinas e o cultivo do solo. No Brasil, são perdidos mais de 500 milhões de toneladas de solos todos os anos (Bertoni & Lombardi, 1999).

A agricultura moderna tem, como fundamento, o desenvolvimento sustentável, que objetiva uma produtividade econômica sem degradar o ambiente. Uma exploração agrícola sustentável requer, entre outros fatores, a manutenção e melhoria da qualidade do solo; porém, a intensificação da exploração agrícola, aliada ao uso e ao manejo inadequado do solo, tem provocado modificações negativas nas propriedades físicas do solo aumentando sua erosão e reduzindo a produtividade das culturas (Souza, 2004).

As perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas. A erosão causa também problemas à qualidade e disponibilidade da água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem (Pruski, 2006). O impacto deste processo sobre os recursos naturais renováveis tem preocupado governos e instituições em todo o mundo. A magnitude deste fenômeno tem sido considerada uma ameaça à própria existência da humanidade. Tal ameaça tem contribuído para a urgência de se quantificar e controlar, de forma racional, as causas do processo erosivo (Albuquerque et al., 2005).

3.2 Infiltração da água no solo

A infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado. Desse modo, sob chuva ou irrigação contínuas, a taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido por taxa de infiltração básica (TIB) (Alves Sobrinho et al., 2003). Dados de TIB são

imprescindíveis aos modelos utilizados para a descrição da infiltração de água no solo e dependem do selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo. O processo de infiltração é de importância prática porque determina o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, responsável pela erosão hídrica (Alves Sobrinho et al., 2001), bem como define técnicas de conservação do solo, contribuindo para o planejamento e delineamento de sistemas de irrigação e drenagem, bem como no auxílio na composição de um cenário mais real da retenção da água e aeração no solo (Paixão et al., 2004).

Segundo Bertol et al. (2001), em solos intensamente cultivados, o surgimento de camadas compactadas determina a diminuição do volume de poros ocupado pelo ar e o aumento na retenção de água. Em decorrência disto, foi observado pelos autores diminuição da taxa de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial e de erosão.

Existem vários métodos para determinação da infiltração de água no solo em campo, dentre eles existem os simuladores de chuva e o infiltrômetro de anel. Trabalhos como os de Costa et al. (1999); Coelho et al. (2000) e Pott & De Maria (2003) têm mostrado que os valores da taxa de infiltração determinados por meio de infiltrômetro de anel são maiores que os obtidos pelos simuladores de chuva, devido ao encrostamento da superfície do solo sob chuva simulada, enquanto que no infiltrômetro isso não ocorre, uma vez que não existe o impacto das gotas de precipitação contra a superfície do solo (Brandão et al., 2006). Este fato foi verificado por Costa et al. (2003), que avaliaram dois métodos de determinação da capacidade de infiltração, usando-se um infiltrômetro de anéis concêntricos e um de aspersão tipo simulador de chuvas, com o solo na capacidade de campo até a profundidade de 40 cm, cujos resultados mostraram que a capacidade de infiltração determinada pelos anéis, que é o método mais usado, resultou em valores maiores que os determinados pelo simulador de chuvas, indicando um cuidado a ser observado, quando da escolha do tipo de infiltrômetro a ser usado.

Panachuki et al. (2006) avaliaram a taxa de infiltração de água no solo em diferentes sistemas de cultivo de pastagem, através de um simulador de chuvas aplicando duas intensidades de precipitação, 60 e 100 mm/h. Com os dados de infiltração obtidos em campo foi possível verificar qual o modelo que melhor se ajustava aos dados. Brandão et al

(2006a), avaliaram a taxa de infiltração da água em algumas classes de solo submetidas à diferentes energias cinéticas de chuva simulada; naquele trabalho, o Neossolo Flúvico apresentou taxa de infiltração decrescente com o aumento da energia cinética da chuva, com valor estável de $1,9 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$.

3.3 Manejo do solo

A resistência dos solos à erosão hídrica apresenta grande amplitude resultante da variabilidade climática, que influi na capacidade das chuvas em causar erosão, na variação de classes de solos com atributos diferenciados e manejo. Em sistemas agrícolas, têm-se investigado as perdas de solo e água em vários sistemas de manejo, culturas e classes hidropedológicas de solo (Martins et al., 2003).

A cobertura do solo apresenta efeito importante na erosão em entressulcos. Os resíduos vegetais na superfície do solo interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e a formação de selo superficial. Além disso, há redução na velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, redução na sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo (Mannering & Meyer, 1963). Braida & Cassol (1999) determinaram redução exponencial da erosão em entressulcos com o aumento da cobertura do solo por resíduos de milho e de trigo, não observando diferenças na eficiência dessa redução pelos diferentes tipos de palha na superfície do solo.

A eficácia dos resíduos culturais na redução das perdas de solo depende de vários fatores, tais como: tipo, quantidade e percentagem de cobertura do solo, forma de manejo e estágio de desenvolvimento das plantas no momento do manejo (Lopes et al., 1987; Amado et al., 1989; Carvalho et al., 1990). O manejo dos resíduos culturais define o nível de proteção fornecido ao solo através da cobertura, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas. Trabalhos de pesquisa têm evidenciado que sistemas de manejo que mantêm os resíduos culturais protegendo a superfície são mais eficazes no controle das perdas de solo do que sistemas em que esses resíduos são total ou parcialmente incorporados.

West et al. (1991) constataram redução de 70% na perda de solo por erosão, em entressulcos, no sistema sem preparo em relação aos submetidos ao preparo convencional,

com grade aradora. Essa diferença foi atribuída ao teor de carbono orgânico e agregados estáveis em água, em maior quantidade no sistema sem preparo do solo.

Braida e Cassol (1999) obtiveram correlação da cobertura com palha na redução da erosão em entressulcos, sendo que Alves et al. (1995), por sua vez, constataram que a redução da erosão é dependente da persistência do resíduo vegetal sobre o solo.

Segundo Volk et al. (2004), o cessamento do preparo do solo, como ocorre na semeadura direta, reconsolida sua superfície e, conseqüentemente, aumenta a resistência do solo à erosão hídrica. Bertol et al. (2004) enfatizam que os preparos conservacionistas de solo, tal como semeadura direta, com menor revolvimento, mantêm parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (Lal & Greenland, 1979), como as que ocorrem na estrutura do solo, evidenciando-se por modificações nos valores de densidade, afetam a sua resistência à penetração, à porosidade total, à distribuição do diâmetro dos poros e sua porosidade de aeração, a armazenagem e a disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água na superfície e no seu perfil, bem como a consistência e a máxima compactabilidade do solo (Klein et al., 1998)

Na maioria dos sistemas de semeadura direta, a ausência quase que completa de preparo por longo tempo reduz o volume de macroporos e eleva a densidade do solo e a estabilidade dos agregados na superfície (Carpenedo e Mielniczuk, 1990), refletindo-se em boa qualidade do solo em relação ao preparo convencional e ao campo nativo (D'Andréa et al., 2002).

Por sua vez, Margolis et al. (1985), avaliando o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal sobre as perdas por erosão, num solo Litólico Eutrófico no agreste pernambucano, em Caruaru, em parcelas com 12% de declividade, constataram que o plantio em contorno reduziu em 36% em relação ao plantio morro abaixo.

Albuquerque et al. (2002), estudando perdas de solo e água em parcelas de erosão com 4% de declive, em região semi-árida, cultivadas com palma forrageira sob solo classificado como Bruno Não-Cálcico vértico, o cultivo em nível em relação àquele em desnível reduziu as perdas de solo e água em 53,4 e 20% respectivamente. Portanto, por sua eficiência e simplicidade, o cultivo em nível, representa um importante instrumento no controle da erosão hídrica. Ainda esses autores observaram que a parcela com caatinga

nativa foi eficaz na redução das perdas de solo, reduzindo-as em torno de 99% em relação à parcela descoberta e às parcelas desmatadas, destacando o papel fundamental da caatinga nativa no controle de erosão do solo. As perdas de água seguiram a mesma tendência, entretanto, essas reduções foram menores do que as perdas de solo.

Silva et al. (2005), estudaram os efeitos erosivos em um Latossolo Vermelho, no Mato Grosso do Sul, analisando o efeito da porcentagem de cobertura do solo e da energia cinética decorrente de chuvas simuladas, com intensidade de 60 mm/h, sobre as perdas de solo, em parcelas de erosão de 0,70 m² verificando diminuição acentuada nas perdas de solo com o aumento da porcentagem de cobertura.

Pires et al. (2006), avaliando as perdas de solo e água por erosão hídrica, em parcelas-padrão sob chuva natural, no período pós-plantio, em Latossolo Vermelho-Amarelo, muito argiloso, relevo ondulado. Analisaram o manejo de eucalipto sob as condições de plantado em nível, plantado na direção do declive, e comparando estes sistemas com as condições de mata nativa, pastagem e solo descoberto, verificaram que entre os sistemas, o eucalipto em nível foi o que mais se aproximou da mata nativa, em perdas de solo, indicando assim maior sustentabilidade desse sistema. Os maiores valores de perda de água foram encontrados no sistema eucalipto plantado na direção do declive. Adekalu et al (2007), estudando o efeito da cobertura do solo proporcionada por gramínea na redução de perda de solo, verificaram redução do escoamento superficial e de perda de solo com o aumento do percentual de gramínea incorporada ao solo. Pan & Shangguan (2006), analisando o efeito da cobertura do solo nas perdas por erosão, verificaram que as parcelas com cobertura vegetal proporcionaram redução de 14-25% no escoamento superficial e de 81-95% na perda de sedimento em relação ao solo descoberto.

Uma prática que vem sendo desenvolvida e testada apresentando bons resultados é o *mulching vertical*, que consiste em sulcos abertos em nível, perpendicularmente ao declive. Estes sulcos são preenchidos manualmente por palhas ou resteva da cultura, compactados suficientemente para evitar o desmoronamento das paredes do sulco, mantendo-os aberto. Esta prática foi avaliada sob condições de chuva simulada e os resultados indicaram a redução percentual da enxurrada no solo de 55 a 74% (Pires & Souza, 2003).

3.4 Matéria orgânica no solo

A erosão hídrica, além de transportar as partículas do solo em suspensão, também transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas os quais, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provocam a poluição das nascentes.

A perda de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, com conseqüentes aumentos em seu custo de produção e na contaminação ambiental (Schick et al, 2000).

A importância da matéria orgânica em relação às características químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. A sua influência sobre as características dos solos e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que a matéria orgânica seja considerada um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo (Bayer & Bertol, 1999).

O aporte de material orgânico pelos adubos verdes, como leguminosas e gramíneas, em sistemas de produção conservacionistas reflete-se no aumento gradativo do teor de matéria orgânica, com efeito positivo sobre a retenção e a disponibilidade de nutrientes. Além disso, a manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo protege-o contra o impacto direto das gotas da chuva, dissipando sua energia cinética. A palha aumenta a tortuosidade do fluxo superficial da água diminuindo a velocidade e capacidade de degradação e transporte dos sedimentos, determinando uma redução na erosão hídrica e a recuperação do potencial produtivo do solo (Debarba, 1993).

Dentre as características do solo que, acompanhadas ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações na sua qualidade em função do manejo, o carbono orgânico total (COT) ou a matéria orgânica do solo (MOS) encontram-se entre as mais promissoras, por demonstrarem bastante sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de manejo (Bayer et al., 2000).

A matéria orgânica do solo influencia no crescimento das plantas através do seu efeito nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas (Stevenson, 1994). Variações nos teores de carbono orgânico e de substâncias húmicas sob diferentes coberturas vegetais foram observados por diversos autores, dentre eles, Longo (1982) e Oades (1988). Neste

sentido, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o efeito das diferentes formas de manejo na dinâmica da matéria orgânica do solo.

Estudos relativos à efetividade de sistemas conservacionistas de preparo do solo no controle de perdas de nutrientes indicam que o total de nutrientes perdidos por erosão hídrica decresce quando tais sistemas são utilizados (Schaefer et al., 2002; Castro et al., 1986; Seganfredo et al., 1997). Isso seria atribuído aos efeitos combinados do aumento na cobertura do solo com restos culturais, decréscimos da incorporação de fertilizantes e redução nas perdas de solo e água. Segundo Cassol et al. (2002), as perdas de nutrientes e matéria orgânica aumentam com as de solo, como foi verificado por Izidório et al (2005), onde a perda total de nutrientes e matéria orgânica nos sedimentos erodidos foi dependente da quantidade total de sedimentos transportados, além da concentração dos referidos nutrientes e matéria orgânica nesses.

3.5 Simuladores de chuvas

Os simuladores de chuva são equipamentos nos quais a água é aplicada por aspersão com uma intensidade de aplicação superior à capacidade de infiltração do solo, exceto para um curto intervalo de tempo, logo após o início da precipitação (Brandão et al., 2003). Este tipo de equipamento já vem sendo utilizado em estudos de manejo de solos há bastante tempo (Souza, 2004).

Bubenzer e Meyer, citados por Montebeller et al. (2001), foram uns dos pioneiros no desenvolvimento de simuladores de chuva para estudos de erosão em laboratório, e comentam que o uso desses equipamentos torna-se necessário na obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão, em curtos períodos de tempo. Além do que, devem ser o mais portátil possível, quando a finalidade é o trabalho em campo.

Apesar de, potencialmente, os simuladores de chuva serem considerados equipamentos importantes, eles devem reproduzir gotas de diâmetro médio similar àquelas da chuva natural, apresentar velocidade de impacto das gotas no solo o mais próximo possível da velocidade terminal das gotas de chuva, produzir precipitações com energia cinética próxima à da chuva natural e promover distribuição uniforme da precipitação sobre a parcela experimental em estudo (Meyer & Harmon, citado por Montebeller et al., 2001).

A uniformidade se refere à igualdade de distribuição da altura de precipitação lançada pelos aspersores sobre a superfície (Gomes, 1994), com coeficiente de uniformidade de Christiansen superior a 80% (Alves Sobrinho et al., 2002).

Existem diversos tipos de simuladores de chuvas, os quais apresentam características distintas, conforme os objetivos da pesquisa. Os simuladores de água pressurizada foram inicialmente usados em pesquisas de erosão. Geralmente, a pressão utilizada varia entre 34,5 e 140 kPa. A pressão irá determinar o diâmetro das gotas, intensidade de chuva, entre outros fatores. A principal desvantagem dos simuladores pressurizados é o diâmetro das gotas, que para altas pressões e, conseqüentemente, altas intensidades, o diâmetro não é real. Para superar este problema de intensidade e diâmetro de gotas, Meyer & Harmon (1979) descrevem um simulador cujo bico oscila rapidamente sobre a parcela (0,5 segundos) fazendo um arco de 90° sobre a parcela experimental.

Bezerra & Cantalice (2006) utilizaram um simulador de bico oscilante para avaliar o efeito de diferentes coberturas do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar sob o escoamento superficial na erosão entressulcos. Souza (2004) desenvolveu um simulador com movimentos oscilantes, o qual mostrou ser eficiente para estudos de infiltração de água no solo, podendo ser utilizado também para estudos de formação de crosta, lixiviação de solutos, perdas de solo, perdas de água e nutrientes por escoamento superficial.

Sendo assim neste trabalho desenvolveu-se um simulador de chuvas semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), com bico oscilante. O coeficiente de uniformidade foi de 86%, trabalhando-se sobre uma parcela de 3 m².

3.6 Hidráulica do escoamento em entressulcos

O escoamento em entressulcos caracteriza-se por uma delgada lâmina de água que flui a curtas distâncias sobre a superfície do solo, carregada de partículas que foram desagregadas do solo pela chuva e pela própria tensão de cisalhamento do escoamento laminar. A alta concentração de nutrientes associados aos sedimentos finos indica que não se deve desprezar este tipo de erosão como mecanismo de transporte (Palis et al., 1990). Neste contexto, é importante compreender a hidráulica do escoamento laminar e a quantificação do sedimento transportado (Cassol et al., 2000).

Quando a unidade de descarga e a profundidade da lâmina são medidas corretamente, muitos outros parâmetros podem ser calculados, como a velocidade média do escoamento, a perda de carga, os números de Reynolds (R) e Froude (F). O primeiro relaciona a magnitude das forças de inércia com as forças viscosas, enquanto o número de Froude (F) relaciona as forças de inércia com os efeitos das forças gravitacionais (Simons & Senturk, 1992). A partir então, dos números de Reynolds e Froude, obtiveram-se os regimes de escoamento gerados a partir das chuvas simuladas de acordo com o esquema da Figura 1.

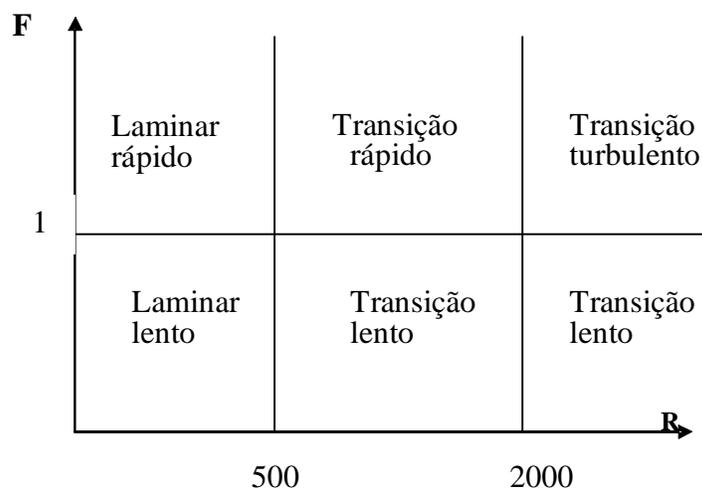


Figura 1. Esquema de classificação dos regimes de escoamento gerados durante as simulações de chuva. Fonte: Bezerra, 2004.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características da área de estudo

O experimento foi desenvolvido entre abril e outubro de 2006, numa encosta com 6% de declividade, localizada na Bacia Representativa do Alto Ipanema (Figura 2). A bacia está situada no município de Pesqueira, localiza-se entre 08° 34' 17" e 08° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 01' 35" e 36° 47' 20" de Longitude, na região oeste do Agreste do Estado de Pernambuco, e exibe clima semi-árido muito quente tipo Estepe, segundo Köppen. A precipitação média anual na região é de 730 mm, a temperatura média é de 23⁰C e a evapotranspiração é de cerca de 1683 mm (Montenegro & Montenegro, 2006). A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas. Os principais solos presentes são Arenoso, Litólico, Bruno não-cálcico, Planossolo, Podzólico Vermelho-Amarelo, e Regossolo (Montenegro et al., 2004). O experimento foi desenvolvido numa área entre o Neossolo Regolítico e o Neossolo Flúvico (Figura 3).

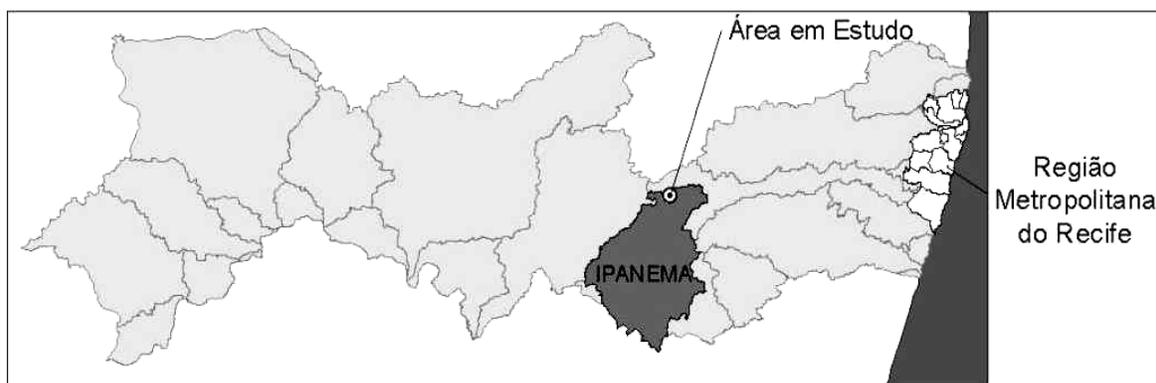


Figura 2. Localização a nível de bacia hidrográfica da área de estudo. Fonte: Montenegro et al, 2003.

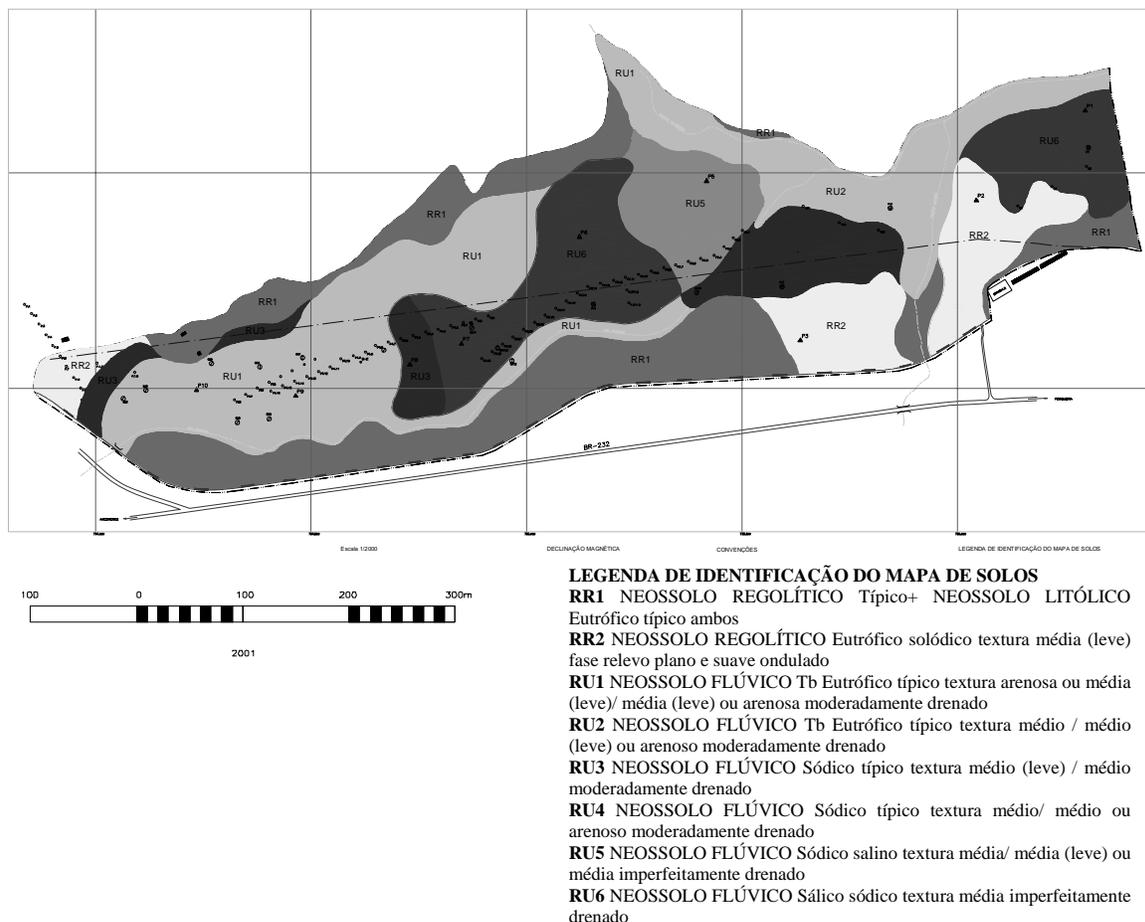


Figura 3. Mapa de solos da Bacia Representativa. Fonte: Corrêa & Ribeiro (2001).

A região apresenta um período seco que ocorre de setembro a março, o qual se caracteriza por apresentar chuvas de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de perda de solo; e um período chuvoso com baixas intensidades de chuva. As atividades de agricultura de sequeiro, na região, iniciam-se com as primeiras chuvas do ano, coincidindo com os maiores percentuais de chuvas erosivas (Santos et al., 2006).

O solo onde se instalou o experimento é classificado como Neossolo Flúvico, segundo Araújo (2001). Foram realizadas coletas de solo dentro da área experimental (90 m²), para caracterização física e química, as quais foram determinadas de acordo com metodologia da EMBRAPA (1997), e encontram-se descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características físicas do solo na área experimental

Areia	Silte (%)	Argila	Densidade das partículas (g cm ⁻³)	Classe textural
63	15	22	2,49	franco argilo arenoso

Tabela 2. Atributos químicos na camada de 0–0,20 m de profundidade do Neossolo Flúvico

pH (H ₂ O)	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Na	Al	(H+Al)	M.O g Kg ⁻¹
				cmolc dm ⁻³				
5,6	2,75	0,12	1,98	0,33	0,06	0,07	0,05	12,49

4.2 Descrição do experimento

O trabalho foi realizado no campo, entre abril e outubro de 2006, os dados pluviométricos de chuva natural, para este período, encontram-se em anexo. O solo na área experimental apresenta inclinação média de 0,06 m m⁻¹, a qual inicialmente estava coberta por campo nativo, o qual foi limpo.

O experimento se realizou considerando uma integração entre pesquisa e extensão, onde se incentivou a participação dos agricultores da região nas etapas de desenvolvimento da pesquisa, tais como preparo do solo, demarcação das curvas de nível, plantio, adubação, realização da cobertura do solo através da cobertura morta, barramento de pedras e colheita. Tal participação permitiu transferência de tecnologia aos agricultores, de modo a possibilitá-los utilizar as técnicas de conservação da água e do solo em seus próprios plantios.

Em abril de 2006, foram estabelecidos os seguintes tratamentos de manejo do solo, distribuídos ao acaso, em três repetições (Figura 4): feijoeiro cultivado em nível (N1) com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio do feijoeiro, no espaçamento de 0,5 m; feijoeiro cultivado em nível (N2) com barramentos de pedra no espaçamento 1,0 m; feijoeiro cultivado morro abaixo (MA); feijoeiro em nível com cobertura morta (CM); desmatada (D); e cobertura natural (CN).

A cultura utilizada neste experimento foi o feijão de arranca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar princesa, safra 2005, as sementes foram fornecidas pelo IPA (Instituto de

Pesquisa Agrônômica), esta cultura foi utilizada nos tratamentos: N1, N2, MA e CM, instalados e conduzidos, conforme descrito a seguir.

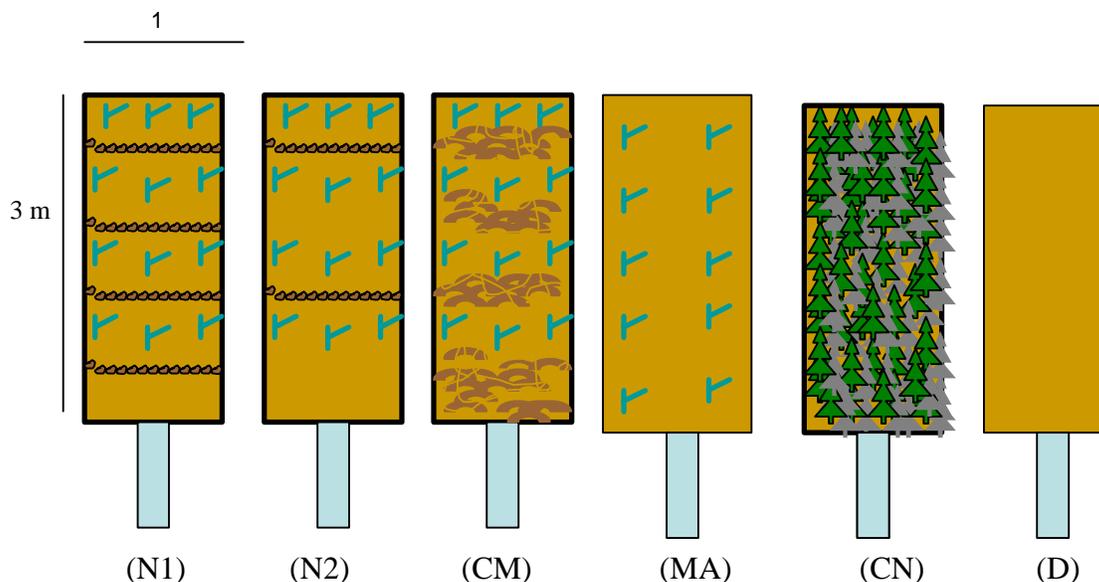


Figura 4. Esquema experimental dos tratamentos.

- Feijoeiro cultivado em nível (N1 e N2)

Em 28 de abril de 2006, após a área ser limpa, foram demarcadas as curvas de nível, através do nível de mangueira, após delimitação foram abertas as covas no espaçamento de 0,50 x 0,20 m, onde se colocou três sementes de feijão. Paralelo à linha de plantio, aproximadamente 10 cm, foram abertos sulcos para incorporação de 15,08 g/m² de cloreto de potássio e 83,33 g/m² de superfosfato simples, além de 62,5 g/m² de sulfato de amônio em cobertura, 25 dias após a emergência, a qual ocorreu 5 dias após a semeadura. Com finalidade de conter o escoamento superficial, foram incorporados cordões de pedra logo abaixo de cada linha de plantio. Esses cordões eram formados com pedras de aproximadamente 15 cm de diâmetro, onde foram empilhadas a uma altura próxima de 10 cm, e uma largura também em torno de 10 cm, o espaçamento entre os cordões variou de 0,5 m para a condição N1, e de 1,0 m para a condição N2 (Figura 5).



(N1)



(N2)

Figura 5. Disposição dos cordões de pedra em campo.

- Feijoeiro cultivado morro abaixo (MA)

Neste cultivo o feijão foi semeado nas condições nas quais os agricultores da região cultivam, ou seja, no sentido do declive, no espaçamento 0,50 x 0,20 m. Onde recebeu a mesma quantidade de adubo, dos demais tratamentos (Figura 6).



Figura 6. Feijão cultivado morro abaixo.

- Feijoeiro cultivado em nível e com cobertura morta

Nesta condição, o feijão foi semeado segundo as curvas de nível, foi adubado com as mesmas proporções das condições N1 e N2. Após a germinação foi colocada a cobertura morta, esta se constituiu de palha de feijão seca, esta palha foi obtida a partir de um cultivo ocorrido numa área próxima. A cobertura foi distribuída uniformemente sobre as parcelas experimentais (Figura 7).



Figura 7. Cobertura morta distribuída sobre as parcelas experimentais.

- Parcelas descobertas

Para obtenção das parcelas descobertas foi realizada a retirada da cobertura natural existente na área.

- Cobertura natural

Nestas foi mantida a vegetação natural existente na área.

- Parcelas experimentais

A unidade experimental era constituída de uma parcela com 1 x 3 m, com a maior dimensão no sentido do declive, construídas com chapas metálicas de 20 cm de altura, sendo aproximadamente 10 cm cravados no solo, as quais possuíam na parte inferior uma calha para coleta da enxurrada (Figura 8). Utilizaram-se 18 parcelas experimentais.

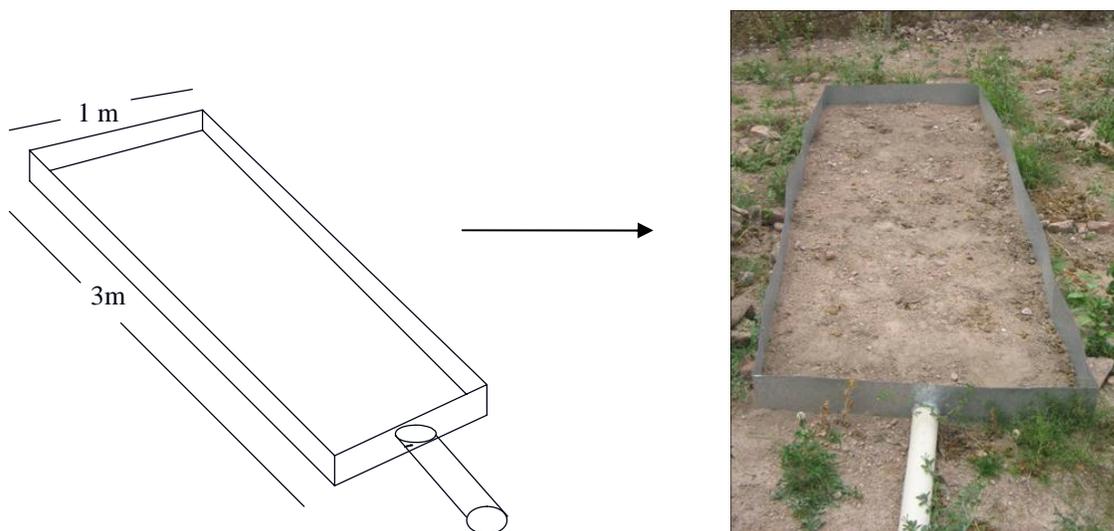


Figura 8. Representação esquemática das parcelas experimentais.

Cada parcela experimental recebeu um total de três chuvas simuladas. A primeira foi realizada vinte dias após a semeadura, e a partir daí em intervalos regulares de 30 dias durante o ciclo do feijoeiro, correspondendo às seguintes fases fenológicas da cultura: crescimento, floração e o período de vagens.

As chuvas tiveram intensidades constantes que variaram entre 54 e 60 mm/h. Esta variação ocorreu, principalmente, devido à interferência do vento no campo. A precipitação teve duração de 80 minutos, utilizando-se para isso um simulador de chuvas pendular (Figura 9), o qual foi desenvolvido para atuar em parcelas experimentais no campo, sendo de fácil locomoção e constituído por uma armação retangular apoiada sob quatro pés tubulares de aço removíveis. O dispositivo possui um motor com sistema eletrônico, o qual realiza movimentos oscilantes temporizados. Foi utilizado um bico aspersor tipo “Veejet 80-100”, da Spraying Systems Company, São Bernardo do Campo, SP, localizado no centro da armação a 2,87 m de altura do solo. Para atingir a intensidade desejada, trabalhou-se com 30 kPa de pressão. O simulador era abastecido por uma bomba colocada

em um reservatório de água de 1000 L.



Figura 9. Simulador de chuvas utilizado nos testes de erosão.

As intensidades geradas nos experimentos são típicas de regiões semi-áridas durante eventos críticos, capazes de gerar relevantes processos erosivos.

Antes da aplicação de cada chuva simulada, foram determinadas as porcentagens de cobertura do solo pelos resíduos vegetais e pelas copas das plantas, bem como a umidade do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, através de coletas de solo, onde as amostras eram levadas a laboratório para determinação através do método gravimétrico.

O tempo de início do teste era registrado, para assim se controlar o intervalo de tempo entre o início da chuva e o início do escoamento para cada tratamento.

A partir do início do escoamento era feita a primeira coleta de enxurrada, na calha coletora da parcela experimental, a partir de então as próximas eram realizadas em intervalos regulares de 5 minutos, com duração de 10 segundos. As coletas eram realizadas em proveta graduada de 1000 mL, onde era lido o volume da enxurrada logo após este material era armazenado em potes plásticos com capacidade de 1000 mL.

4.3 Avaliação das taxas de perda e taxas de desagregação do solo

As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram determinadas pela pesagem do material coletado nos potes plásticos. Os potes, após pesagem, foram deixados em repouso e após 24 horas, o sobrenadante foi succionado e os potes levados para secagem em estufa a 65° C, durante 72 horas, sendo em seguida pesados com o solo (Cogo, 1978). As taxas de desagregação do solo (D) ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) foram determinadas conforme a expressão:

$$D = \frac{M_{ss}}{A \cdot D_c} \quad (1)$$

onde: M_{ss} = massa do solo seco desagregado (kg), A = área da parcela (m^2) e D_c = duração da coleta em (s)

Finalmente, as perdas de solo foram obtidas através da seguinte equação:

$$P_s = \frac{\sum(Q \cdot C_s \cdot t)}{A} \quad (2)$$

onde: P_s = perdas de solo ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$); Q = vazão ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$); C_s = concentração de sedimento (kg/L); t = intervalo entre as coletas (300s) e A = área da parcela (m^2).

4.4 Avaliação das características hidráulicas

A velocidade do escoamento superficial foi determinada através da cronometragem do tempo gasto para um corante (azul de metileno) percorrer a distância entre dois pontos fixos na parcela, distanciados de 2 m. Este procedimento foi realizado a intervalos de 5 minutos, a partir da formação e deslocamento da lâmina de escoamento.

Os valores da velocidade superficial do escoamento foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), para obtenção da velocidade média do escoamento, em m s^{-1} , conforme Farenhorst & Bryan (1995) e Katz et al. (1995).

A altura da lâmina do escoamento (h) foi então determinada como:

$$h = \frac{q}{V} \quad (3)$$

onde q = descarga líquida total por unidade de largura em ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), V = velocidade média do escoamento (m/s), h = altura da lâmina de escoamento (m). A descarga líquida (q) foi

expressa em (m²/s), sendo determinada a partir das coletas de enxurrada em potes plásticos, colocados na extremidade inferior da calha coletora. As coletas nos potes foram efetuadas a cada 5 minutos.

A viscosidade cinemática da água foi determinada pela utilização da equação seguinte, segundo Julien (1995), sendo a temperatura (°C) aferida por meio de um termômetro em cada teste.

$$v = (1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(T - 15)^2) \times 10^{-6} \quad (4)$$

onde v= viscosidade cinemática da água (m² s⁻¹), T= temperatura da água em °C.

O número de Reynolds (Re) foi obtido pela equação, segundo Simons (1992):

$$Re = \frac{Vh}{v} \quad (5)$$

onde Re= número de Reynolds, adimensional, v= viscosidade cinemática da água (m² s⁻¹).

Para o número de Froude (Fr), foi adotada a equação (6), segundo Simons (1992):

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (6)$$

onde Fr= número de Froude, adimensional, g= aceleração da gravidade (m s⁻²) e h= altura do escoamento (m).

A partir dos números de Reynolds e Froude, identificou-se o regime dos escoamentos gerados a partir das chuvas simuladas.

A rugosidade foi determinada pelo coeficiente de Manning (n), conforme Braida & Cassol (1999):

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q} \quad (7)$$

onde n é o coeficiente de rugosidade de Manning (s m^{-1/3}); h é a altura da lâmina de escoamento (m); q é a descarga líquida por unidade de largura (m² s⁻¹); S é o declive da parcela (m m⁻¹).

A intensidade de precipitação foi aferida através de 14 pluviômetros espalhados ao redor da área útil das parcelas, sendo os pluviômetros de 10 cm de diâmetro e 21 cm de altura. Após os testes media-se o conteúdo dos pluviômetros em proveta, a intensidade de precipitação obteve-se pela equação:

$$I = (V/A) / t \quad (8)$$

sendo, V = volume médio dos 21 pluviômetros dados em ml ou cm^3 ; A = área dos pluviômetros dada em cm^2 , multiplicando-se por 10 o resultado obtido para transformar em mm e ajustar o tempo de precipitação para 60 minutos, para fornecer o resultado final em mm/h.

A taxa de infiltração foi obtida pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento superficial resultante (Brandão et al., 2006). As taxas de perdas totais de água foram avaliadas a partir do percentual de chuva aplicada.

4.5 Avaliação da porcentagem de cobertura vegetal do solo pelo método fotográfico

A porcentagem de cobertura do solo foi determinada através do método de Mannering, descrito por Bezerra et al. (2002), que utiliza a projeção fotográfica de uma moldura com a cobertura vegetal da área. Inicialmente construiu-se uma moldura de madeira nas dimensões de 76cm de largura por 51 cm de comprimento, a qual foi então, montada sobre uma área representativa das parcelas (Figura 11). Em seguida, fotografou-se o solo, enquadrando-se a moldura no visor da câmara digital. Posteriormente, projetaram-se as molduras fotografadas em um quadro padrão (Figura 10). Com a soma da contagem das interseções, com os pontos de cobertura vegetal da superfície (copa/ resíduo) projetados, tem-se a porcentagem total de cobertura vegetal, sendo que cada ponto de interseção representa 2%. O método possui 50 pontos de interseção.

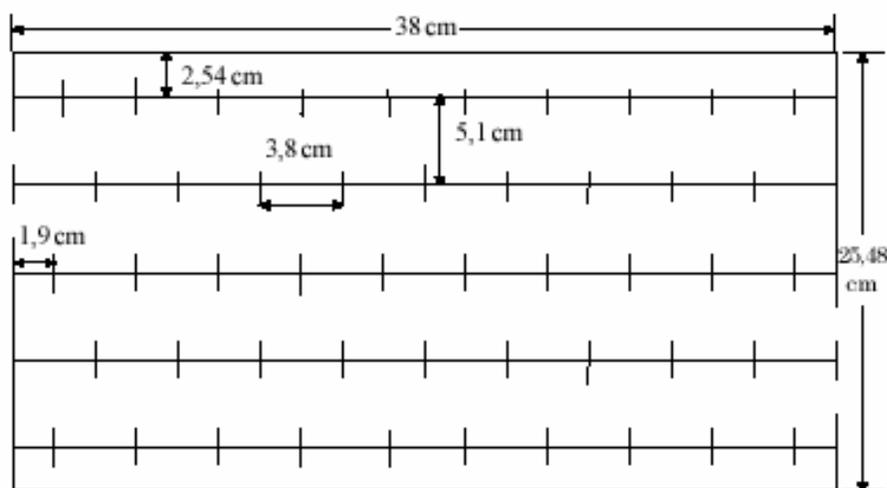


Figura 10. Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra, 2006.

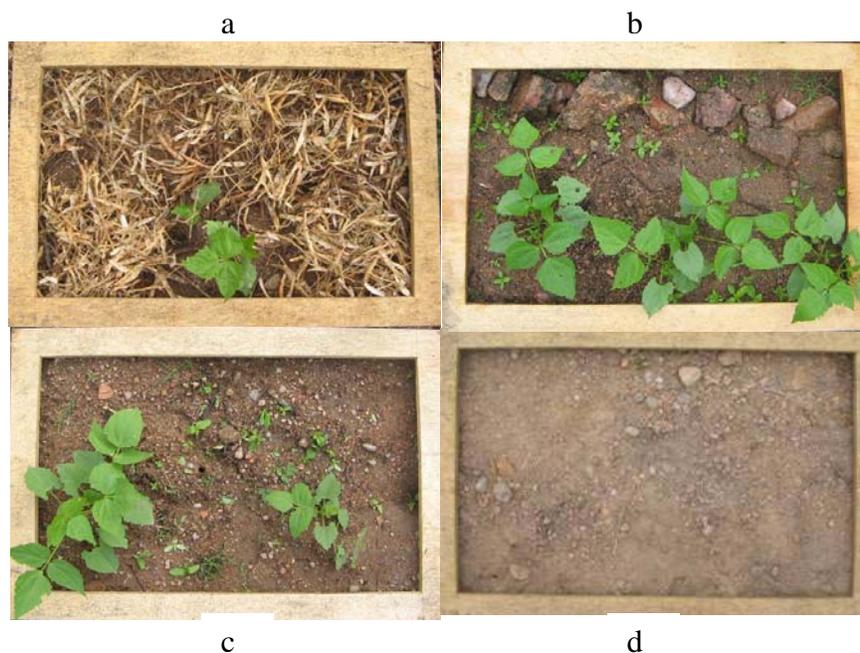


Figura 11. Representação da cobertura vegetal nos tratamentos: (a) feijão em nível + cobertura morta, (b) feijão em nível + microbarramentos, (c) feijão sob a condição morro abaixo, (d) solo descoberto.

4.6 Perda de carbono orgânico

Durante o cultivo do feijão, foram coletadas amostras do solo após cada teste de chuva simulada, na profundidade de 0–0,025 m, em uma locação em cada parcela, nas quais foi determinado o teor de CO (Bertol, 2004), segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

Após secagem do material coletado nos potes, proveniente da enxurrada, conforme metodologia explicada no tópico 3.3, o sedimento foi retirado com o auxílio de um pincel e armazenado em potes plásticos para posterior análise química.

A quantidade de carbono (kg kg^{-1}) dos sedimentos provenientes da enxurrada, de cada parcela, foi multiplicada pela perda total de solo carreado pela erosão (kg ha^{-1}), fornecendo, assim, o total de carbono perdido em kg ha^{-1} (Izidório, 2005).

4.7 Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo a subparcela a fase fenológica na qual a cultura se encontrava, podendo ser crescimento, floração ou vagens. O delineamento foi composto por seis tratamentos e três repetições durante as três fases de desenvolvimento da cultura, resultando num total de 54 ensaios de chuva simulada. Com a finalidade de reduzir o coeficiente de variação dos dados, estes foram transformados para \sqrt{x} , com exceção dos dados de cobertura vegetal.

Foi observada a influência entre a fase fenológica, a qual se encontrava a cultura e os tratamentos aplicados nos resultados dos parâmetros avaliados, através do teste de análise de variância (ANOVA).

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa SAS- Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998). A comparação entre as médias de tratamentos foi realizada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeitos isolados

Não houve interação entre tratamentos e fases de desenvolvimento da cultura para as variáveis: perda de solo, taxa de desagregação do solo, descarga líquida, altura da lâmina de escoamento e velocidade, número de Reynolds, número de Froude e viscosidade cinemática. No entanto, os efeitos isolados destes tratamentos apresentaram diferença significativa, como se pode observar nas Tabelas 3 e 4. As parcelas com cultivo MA, N2, N1, CM e CN proporcionaram reduções de 45,28%; 55,47%; 65,28%; 96,22% e de 97,35% nas taxas de desagregação do solo em relação à parcela descoberta, respectivamente.

Não ocorreram diferenças significativas entre as taxas de desagregação para as condições CM e CN, as quais apresentaram as menores taxas de desagregação, evidenciando que a cobertura do solo é importante para a redução do efeito das perdas de solo, pois evita a desagregação das partículas e com isso o transporte pela enxurrada, concordando com os resultados encontrados por Carvalho et al. (1990), que estudaram o efeito da cobertura vegetal proporcionada pela palha do trigo, em parcelas experimentais com 7,5% de declividade, com aplicação de 64 mm/h de chuva simulada, em um Podzólico vermelho-amarelo de textura franco-arenosa; estes autores encontraram reduções significativas da velocidade de escoamento e conseqüentemente, reduzidas perdas de solo com aplicação da palha.

Como esperado, os valores reduzidos de perdas de solo para as parcelas com CM e CN diferiram significativamente das demais médias dos tratamentos. A condição em nível (N1), a qual possuía 0,50 m de distância entre as fileiras de pedra, apresentou redução significativa de 26,31% nas perdas de solo em relação à condição em que as fileiras de pedra possuíam distância de 1,00 m (N2). A condição de plantio em cobertura morta foi a que apresentou a melhor condição de manejo para o cultivo do feijoeiro, uma vez que reduziu em 83,33%; 89,70% e 87,71% as perdas de solo em relação aos cultivos N1, MA e N2, respectivamente. Reduções de 98% nas perdas de solo foram encontradas por Mello et al. (2003), no plantio em palha dessecada em relação ao plantio convencional; estes autores

encontraram estes resultados estudando um Nitossolo Háplico alumínico em parcelas experimentais com 18% de declive, sob chuva simulada, em São José do Cerrito, SC. Leite et al. (2004), estudando as perdas de solo e água por erosão hídrica sob chuva simulada em diferentes sistemas de manejo num Nitossolo Háplico alumínico, no Planalto Sul Catarinense, em parcelas experimentais com 16,5% de declividade, encontraram redução de 99% para a cultura do feijoeiro cultivado sob resíduos culturais de aveia, e de 83% para a cultura do milho cultivado sob resíduos de ervilhaca comum.

O cultivo na condição morro abaixo apresentou aumento de 61,9% e de 12,29% nas perdas de solo em relação aos cultivos em nível (N1) e (N2), respectivamente, demonstrando mais uma vez melhores resultados em relação à conservação do solo com o menor espaçamento entre os barramentos em pedra. Margolis et al. (1985) avaliando o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal sobre as perdas por erosão, num solo Litólico Eutrófico no agreste pernambucano, em Caruaru, em parcelas com 12% de declividade encontraram reduções de 36% no cultivo em contorno em relação ao cultivo morro abaixo. Santos et al. (2000), estudando a erosão ocorrida em diferentes sistemas de manejo, entre os quais, a palma cultivada morro abaixo, prática comum no nordeste brasileiro, constataram que esta não protege o solo de forma adequada quando comparada com a vegetação nativa, a caatinga, considerada o melhor tipo de cobertura vegetal, entre os estudados, concordando com os dados obtidos neste experimento.

Comparando-se os valores médios de perda de solo na parcela com cobertura nativa e desmatada, verifica-se uma redução de 99,21%. Resultado semelhante foi encontrado por Albuquerque et al. (2002), para estas mesmas condições de cobertura do solo na Paraíba.

Não houve diferença significativa entre as médias das descargas líquidas produzidas para os tratamentos D, N1, N2 e MA, as quais apresentaram valores na ordem de $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, concordando com os valores encontrados por Bezerra et al. (2004), em parcelas com solo descoberto sob chuva simulada. Estes valores apresentam-se superiores aos tratamentos CN, CM e N2, onde a cobertura vegetal proporcionou descarga líquida na ordem de 10^{-6} e 10^{-7} , corroborando com o valor encontrado por Cassol et al. (2004), para uma parcela experimental com 80% de cobertura de palha, com simulador de chuvas.

Os valores de descarga líquida juntamente com os valores de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1), em todos os tratamentos e em todas as fases, caracterizaram o regime de escoamento como laminar lento, indicando ter ocorrido uma erosão entressulcos.

O aumento da velocidade do escoamento superficial da água é favorecido por determinadas condições, como aumento do grau e comprimento do declive, ausência de resíduo vegetal na superfície do solo e presença de caminhos deixados por máquinas e implementos agrícolas por ocasião do preparo do solo (Lopes et al., 1987). Como o declive era o mesmo para as parcelas e não existiam máquinas para o plantio do solo, neste experimento o único fator que possibilitou a diferença nas velocidades de escoamento foram as formas de manejo do solo, como mostraram os resultados apresentados na Tabela 3.

A presença do barramento em pedra e a cobertura morta, tanto nas condições em nível como na condição CM, proporcionaram uma barreira física ao escoamento, aumentando a tortuosidade, resultando em redução da velocidade do escoamento causada pela presença de resíduos vegetais na superfície, o que ocorre, geralmente, por causa do aumento da rugosidade hidráulica do fluxo superficial, resultando em aumento da altura do escoamento (Foster, 1982; Braida & Cassol, 1999). Este fato é confirmado pelos maiores valores de coeficiente de rugosidade encontrados para estes tratamentos (Tabela 5), bem como pelos valores de velocidade de escoamento superficial, onde as condições morro abaixo e descoberto apresentaram valores de velocidade superiores com médias diferentes significativamente dos demais tratamentos. A condição CM proporcionou uma redução de 59,09; 71,87; 50 e 78,57% em relação às condições N1, MA, N2 e D, respectivamente. Essas reduções na velocidade de escoamento também foram encontradas por Lopes et al. (1987), de forma acentuada, com o aumento das porcentagens de cobertura do solo.

Tabela 3. Número de Reynolds (Re), número de Froude (Fr), descarga líquida, altura, velocidade de escoamento (V) e viscosidade cinemática para as diferentes práticas conservacionistas estudadas.

Tratamento	Re	Fr	Descarga Líquida (m² s⁻¹)	Altura de escoamento (m)	V (m s⁻¹)	Viscosidade cinemática (m² s⁻¹)
N1	36,83 a	0,18 b	3,30 x 10 ⁻⁵ a	1,52 x 10 ⁻³ a	0,022 b	9,08 x 10 ⁻⁷
N2	31,73 a	0,14 bc	2,11 x 10 ⁻⁵ ab	1,62 x 10 ⁻³ a	0,018 bc	9,19 x 10 ⁻⁷
MA	25,67 ab	0,37 b	3,55 x 10 ⁻⁵ a	0,73 x 10 ⁻³ c	0,032 ab	9,10 x 10 ⁻⁷
CM	14,77 b	0,07 c	9,36 x 10 ⁻⁶ bc	1,52 x 10 ⁻³ a	0,009 c	9,26 x 10 ⁻⁷
CN	-	-	9,42 x 10 ⁻⁷ c	-	-	-
D	41,32 a	0,44 a	2,91 x 10 ⁻⁵ a	0,91 x 10 ⁻³ b	0,042 a	9,25 x 10 ⁻⁷

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Perda de solo e taxas de desagregação, para as diferentes práticas conservacionistas avaliadas.

Tratamento	Perda de solo (kg m⁻²)	Taxa de desagregação (kg m⁻² s⁻¹)
N1	0,042 b	9,17 x 10 ⁻⁶ d
MA	0,068 ab	1,45 x 10 ⁻⁵ b
N2	0,057 a	1,18 x 10 ⁻⁵ c
CM	0,007 c	9,05 x 10 ⁻⁷ e
CN	0,001 c	6,34 x 10 ⁻⁷ e
D	0,126 a	2,65 x 10 ⁻⁵ a

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

5.2 Interação significativa

Houve interação significativa entre tratamento e fase de desenvolvimento da cultura do feijoeiro para as seguintes variáveis: vazão, velocidade de escoamento, altura de escoamento, cobertura vegetal, perda de água, rugosidade, umidade inicial, tempo de início de escoamento, taxa de infiltração básica e escoamento superficial, as quais encontram-se representadas nas Tabelas a seguir.

Na Tabela 5, encontram-se as perdas de água, percentagem da chuva aplicada, para o período de crescimento, florescimento e época de vagens para a cultura estudada. Observa-se que houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos para as três fases, as quais apresentaram em geral o mesmo comportamento, onde a parcela sem cobertura apresentou a maior percentagem de perda de água, não diferindo estatisticamente

da parcela com tratamento MA. As menores perdas ocorreram nas parcelas com CN e CM, que reduziram as perdas de água em média 97,77% e 90,64% em relação à parcela sem cobertura, indicando que a cobertura vegetal funcionou como uma barreira ao livre escoamento, permitindo que a enxurrada permanecesse mais tempo sob o solo, resultando numa maior infiltração. Esses resultados concordam com os encontrados por Mello et al. (2003), para a condição de plantio direto, e por Albuquerque et al. (2002) para as condições de campo nativo e desmatado. A condição MA apresentou aumento em média de 19% e 63% nas perdas de água em relação às condições N1 e N2. Com relação às fases, observa-se diferença significativa apenas para as condições de CM e N2, nesta a perda de água foi 45,60% maior no período de vagens em relação à fase de crescimento. Para a CM, o período de crescimento foi o que apresentou a menor perda de água em relação às demais fases. Possivelmente, a cobertura morta colocada na primeira fase foi se decompondo, deixando o solo sujeito a maiores perdas de água. Essa hipótese ressalta a importância da manutenção da cobertura morta em todas as fases da cultura, principalmente quando se considera a irregularidade e a baixa precipitação pluvial da região semi-árida do nordeste.

Tabela 5. Médias de perda de água (% da chuva aplicada) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	60,83 bcA	81,95 aA	69,95 abA
N2	44,58 cB	58,64 bAB	64,91 bA
MA	72,67 ab A	86,87 aA	87,03 abA
CM	8,55 dB	26,17 cA	35,59 cA
CN	2,04 eA	2,07 dA	2,09 dA
D	91,38 aA	91,53 aA	91,69 aA

C.V.: 7.14%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Médias de 3 repetições. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

Na Tabela 6 encontram-se os coeficientes de rugosidade durante o ciclo da cultura do feijoeiro. Não foi possível observar escoamento superficial aparente nas parcelas que receberam a cobertura natural, como tratamento, durante as fases de crescimento e de

vagens, e cobertura morta, nas fases de crescimento e vagens, impossibilitando calcular os coeficientes de rugosidade para estas fases.

Observa-se na Tabela 6 que não houve diferença significativa entre os coeficientes de rugosidade para os tratamentos com solo descoberto, em nível (N1), e morro abaixo, o maior coeficiente de rugosidade foi obtido para a condição N2, na fase de crescimento. Na fase de florescimento, quando foi possível calcular esta variável para o tratamento com cobertura morta, observa-se que esta obteve o maior valor, sendo diferente significativamente das demais médias, devido à palha do feijão estar em contato direto com a superfície do solo, proporcionando maior resistência ao livre escoamento do fluxo, fato verificado também por Bezerra (2004) ao observar que a palha da cana-de-açúcar colocada sobre o solo proporcionou maior rugosidade em relação ao solo apenas com a cultura. Apesar do teste de Tukey não ter detectado diferença significativa entre as médias dos tratamentos em nível e descoberto, observa-se que este, juntamente com a condição morro abaixo, apresentaram menores valores de rugosidade. No período de vagens, as condições em nível apresentaram maiores valores de rugosidade, diferindo estatisticamente das condições morro abaixo e solo descoberto. Baixos valores de rugosidade para a condição de solo descoberto foram encontrados por Castro et al. (2006) e Levien (1990) que mediram a rugosidade do solo, numa condição sem preparo e sem cobertura, o que pode ser explicado pelo fato de que o solo estava consolidado com superfície praticamente lisa.

Durante as fases, não houve diferença significativa entre os valores de rugosidade do solo, com exceção da condição N2, que apresentou um baixo valor de rugosidade na época do florescimento. Foi constatado por Allmaras (1966) que a rugosidade decresce com o decorrer do tempo, pelo efeito de impactos sucessivos das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Este fato não foi observado neste trabalho, talvez porque a região apresenta baixos índices de precipitação, e durante a realização do experimento, não ocorreu evento pluviométrico, assim, não houve modificação da condição de rugosidade inicial do solo.

Tabela 6. Coeficientes de rugosidade de Manning ($s\ m^{-1/3}$) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	0,15 bA	0,15 bA	0,18 aA
N2	0,39 aA	0,16 bB	0,31 aAB
MA	0,06 bA	0,04 cA	0,06 bA
CM	-	0,41 aA	-
D	0,05 bA	0,06 bA	0,06 bA

C.V.: 12.24%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; D: solo descoberto.

Na Tabela 7 encontram-se as percentagens de cobertura vegetal. Observa-se que em todas as fases as maiores taxas de cobertura vegetal foram encontradas para condições de CM e CN, e as menores taxas para a condição D, como era esperado. Nas fases de crescimento e de florescimento, não houve diferença significativa entre a cobertura proporcionada pelas condições em nível (N1 e N2). A percentagem de cobertura vegetal teve acréscimos com as mudanças de fases da cultura, porém este aumento não foi significativo, exceto para as condições em nível, as quais apresentaram menores percentagens na fase de crescimento.

Na Figura 12 encontra-se a relação entre as perdas de solo e a cobertura vegetal. De forma geral, para todos os tratamentos durante todas as fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro, as perdas de solo apresentaram redução exponencial em relação à cobertura vegetal, proporcionada pelos diferentes sistemas de manejo. Como foi explicado anteriormente, isto se deve à diminuição do impacto das gotas de chuva, desagregação das partículas e transporte de sedimentos na enxurrada, o que está de acordo com Silva et al (2005). Esses autores comentam que, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor será a propensão de ocorrência de erosão. Comportamento semelhante foi encontrado por Bezerra et al. (2006), observando diferentes coberturas do solo no cultivo da cana; e Leite et al. (2004), que observaram diminuição exponencial com o aumento das coberturas do solo proporcionadas pelos resíduos culturais e pelas copas das plantas. Silva et al. (2005) encontraram, para o sistema

de plantio direto, perdas de solo, em média, menores do que as observadas no preparo convencional.

Tabela 7. Cobertura vegetal (%) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	35 cB	49 bA	35,67 cB
N2	28,55 cB	53,67 bA	44,33 bA
MA	22 dA	29,89 cA	29,78 cA
CM	86 bA	97,11 aA	97,33 aA
CN	100 aA	100 aA	100 aA
D	3 eA	0 dA	5 dA

C.V.: 7.05%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

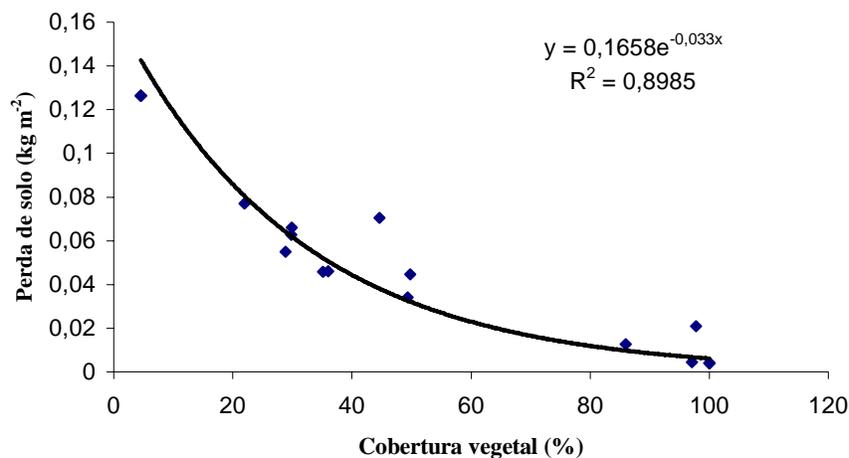


Figura 12. Relação entre as perdas de solo e a taxa de cobertura vegetal nos diversos tratamentos analisados.

Na Tabela 8 encontram-se as condições de umidade antecedentes às aplicações de chuva simulada. Observa-se que, em todas as fases de crescimento, a umidade antecedente

foi significativamente mais alta nos tratamentos que possuíam cobertura vegetal. Costa et al. (2003) também encontraram valor de umidade maior para sistema de plantio direto, o que pode ser devido à menor evaporação, decorrente da cobertura do solo por resíduos. Os tratamentos em nível, MA e D não apresentaram diferença significativa para os valores de umidade, com exceção da fase de crescimento, onde o teor de água no solo apresentou-se menor em D e MA. Entre as fases, só se verificou diferença nas condições em nível, que apresentaram valores mais altos na época de crescimento. Pouca variação entre as umidades antecedentes à aplicação das chuvas nos solos entre diversos sistemas de manejo, também foi verificada por Volk et al. (2004), Mello et al. (2003), Castro et al. (2006) e Silva et al. (2005).

Tabela 8. Umidade inicial (%) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	7,77 bA	5,17 bB	5,17 bB
N2	8,36 bA	4,55 bB	3,34 bB
MA	5,17 cA	4,66 bA	5,26 bA
CM	12,28 aA	9,81 aA	9,49 aA
CN	9,47 abA	10,73 aA	9,65 aA
D	3,89 cA	3,87 bA	3,00 bA

C.V.: 7,69%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

Na Tabela 9 verificam-se os tempos de início de escoamento (min) para as diferentes formas de manejo do solo. Observa-se que houve diferença significativa entre o intervalo de início de escoamento para o campo nativo (CN) em todas as fases. O tempo de início do escoamento foi 83,00 e 71,26% maior nas condições com cobertura vegetal em relação às médias dos outros tratamentos, na fase de crescimento, o que pode ser justificada pela grande cobertura do solo nestes sistemas. Não houve diferença significativa em nenhuma das fases entre MA e D. Com exceção da fase de crescimento, na qual as médias das condições em nível foram significativamente maiores que as condições sem prática de manejo, as demais fases não apresentaram esta diferença para o início do escoamento. Leite

at al. (2004) e Mello at al. (2003) estudando o efeito de formas de manejo no início do escoamento, também verificaram diferença significativa entre as taxas de início para a condição de semeadura direta.

Tabela 9. Tempo de início do escoamento (min) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	13,14 bA	4,95 bcB	4,73 cB
N2	11,53 cA	5,33 bB	5,48 bcB
MA	4,9 dA	3,15 cA	3,23 cA
CM	27,66 aA	10,16 bB	10,22 bB
CN	47 aA	48 aA	49 aA
D	2,23 dA	2,48 cA	2,19 cA

C.V.: 10,13%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

Na Tabela 10 encontram-se os valores de taxa de infiltração básica (mm/h). As parcelas CN e CM apresentaram os maiores valores, com diferença significativa entre as médias dos tratamentos. Na fase de crescimento, as reduções das parcelas com cobertura vegetal foram de 65,54; 74,02; 42,02 e de 88,66% em relação aos tratamentos N1, MA, N2 e D. A condição MA apresentou aumento de 77,94% em relação as médias das condições em nível. As proteções fornecidas pelas coberturas e pelos barramentos reduziram a velocidade da enxurrada e aumentaram a capacidade de retenção e de infiltração de água no solo, o que concorda com as verificações de Bertol (1994) e Schick et al. (2000). Os valores de infiltração de N2, CM e CN são considerados altos, segundo classificação sugerida por Reichardt (1990).

Na fase de florescimento, observa-se que não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos N1, MA e D; nota-se ainda que a condição N1 apresenta taxas de infiltração menores que a condição MA na época de florescimento e de vagens, não apresentando diferença significativa entre as médias. Talvez o menor espaçamento entre as pedras não seja uma forma de manejo eficiente na contenção do escoamento superficial.

Tabela 10. Taxa de infiltração básica (mm/h) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Tratamento	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	19,09 bcA	5,78 cB	9,56 bAB
N2	32,12 bA	27,83 bA	15,26 bB
MA	14,39 cA	10,41 cA	9,66 bA
CM	55,84 aA	44,36 abAB	36,01 aB
CN	54,60 aA	54,78 aA	54,96 aA
D	6,30 dA	6,58 cA	6,63 bA

C.V.: 10.84%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

Na Figura 13 encontram-se os valores de taxas de infiltração durante o ciclo da cultura do feijoeiro, nos diferentes tratamentos. Considerando-se que a infiltração reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas (Centurion et al, 2001), deduz-se que nos solos estudados a infiltração sofreu modificações, em função do manejo adotado em cada parcela. Observa-se que os valores iniciais de taxa de infiltração de água no solo foram altos em todos os tratamentos, o que pode ser devido principalmente pelo baixo teor de umidade do solo no momento de realização dos testes de infiltração (Tabela 7). Bertol et al. (2001) e Cruz et al. (2003), verificando taxas de infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo, também encontraram altos valores de infiltração inicial com rápido decréscimo, para solos com baixos valores de umidade inicial. Ainda percebe-se que a taxa de infiltração do solo sob cobertura nativa, cobertura morta e N2, apresentam-se mais elevadas em relação aos demais tratamentos; nos dois últimos tratamentos a infiltração tende a se estabilizar próximo aos 25 minutos de teste. O aumento da infiltração foi favorecido pela presença de barreiras físicas e de cobertura vegetal, evitando a desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva e a formação do selamento superficial, conseqüentemente, resultando numa redução do escoamento superficial (Silva et al., 2005).

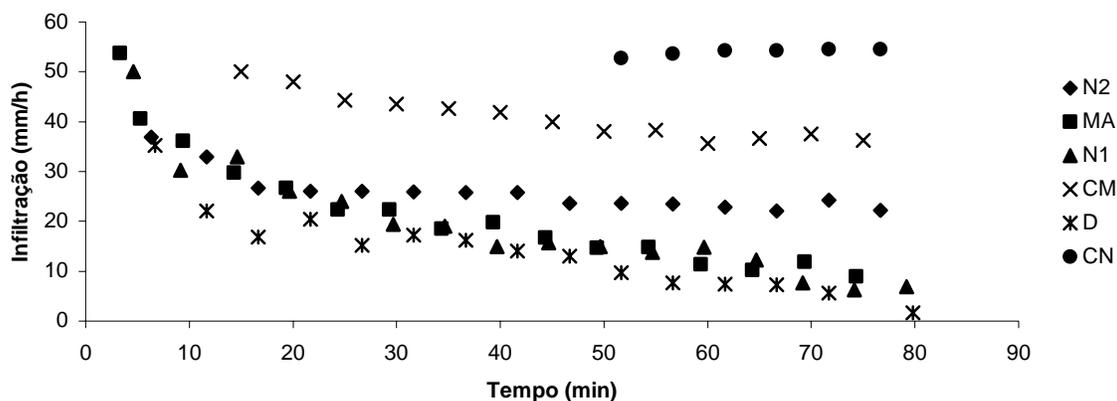


Figura 13. Taxas de infiltração obtidas para as diferentes formas de manejo do solo durante ciclo do feijoeiro.

Com relação ao escoamento superficial (Tabela 11), houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos. As condições com cobertura vegetal, mais uma vez apresentaram as menores taxas erosivas. Na fase de crescimento, não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos onde não havia prática conservacionista. A condição N2 apresentou-se mais eficiente na contenção do escoamento superficial do que N1, reduzindo em média 31, 84% o deflúvio em relação às condições MA e D.

Tabela 11. Escoamento superficial (mm/h) nas diferentes práticas conservacionistas estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Treatment	Crescimento	Florescimento	Vagens
N1	36,5 bcB	57,36 aA	48,97 aAB
N2	25,26 cA	37,71 bA	31,91 bA
MA	43,15 abA	55,33 aA	46,24 aA
CM	5,27 dB	15,75 cA	18,28 cA
CN	1,14 eA	1,18 dA	1,17 dA
D	54,09 aA	54,32 aA	54,37 aA

C.V.: 7.74%. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e de letras maiúsculas na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Média de três repetições. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

A Figura 14 ilustra o comportamento do escoamento superficial durante o tempo de duração dos testes de chuva simulada. Observa-se um comportamento inverso ao de infiltração, onde CN, CM e N2 apresentaram menores valores de escoamento superficial, verificando-se que para a condição de cobertura natural a taxa apresenta valores muito baixos. A cobertura morta é a situação que mais se aproxima da condição CN, indicando um eficiente controle da erosão por parte de resíduos vegetais.

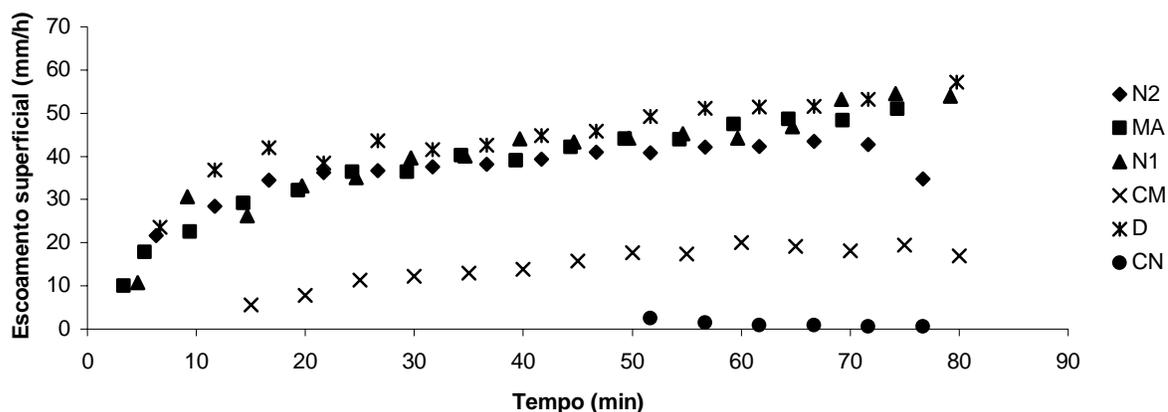


Figura 14. Escoamento superficial para as diferentes formas de manejo do solo, durante ciclo do feijoeiro.

5.3 Perda de carbono orgânico

Não foi observada diferença significativa entre as médias das interações fase e tratamento para perda de carbono (kg ha^{-1}), porém o efeito isolado do tratamento sobre as perdas apresentou diferença significativa. A presença de carbono no sedimento e no solo não apresentou diferença significativa nas médias, tanto para as interações quanto para os efeitos isolados (Tabela 12).

Na Tabela seguinte se observa que não houve diferença significativa entre as perdas de carbono para as condições de solo descoberto e do plantio cultivado morro abaixo, bem como entre as médias das condições em nível (N1 e N2) e morro abaixo. Entretanto, as parcelas que apresentaram as menores perdas de carbono eram as que possuíam as maiores percentagens de cobertura vegetal (CN e CM). Estes tratamentos reduziram em média

89,84; 94,15; 91,92 e 96,72% as perdas de carbono orgânico em relação aos tratamentos N1, MA, N2 e D, respectivamente. As perdas de carbono orgânico estão de acordo com os resultados encontrados por Bertol et al. (2004), que verificaram perdas de 0,8 kg/ha, para o sistema de manejo de semeadura direta.

A maior quantidade de carbono no solo na condição natural é explicada pela grande quantidade de material vegetal existente na condição natural de solo que entram em decomposição, daí a disponibilidade maior de carbono em relação aos demais tratamentos. As perdas de nutrientes e CO nos sedimentos transportados pela enxurrada foram influenciadas pelas suas concentrações nos sedimentos produzidos e pela perda de solo por erosão (Leite et al., 2004). Deste modo, as referidas perdas foram baixas nos tratamentos cobertura morta e campo nativo.

Os resultados do total de carbono orgânico perdido nos sedimentos das condições sem prática conservacionista revelaram quantidades significativas de carbono sendo transportado para as partes mais baixas do terreno (Figura 15), com uma redução de 67,66 e de 59,38% em relação às condições N1 e N2, respectivamente. As condições CM e CN apresentaram redução de 94,73 e de 98,70% em relação à parcela desmatada, indicando que, além dos prejuízos causados pela erosão ao potencial de produção do solo, ocorre também uma contaminação dos recursos hídricos com excesso de nutrientes e resíduos de agrotóxicos, concordando com os dados de Bertol et al. (2004) que encontraram perdas de CO 764 vezes maior no solo descoberto em relação à semeadura direta.

A presença de CO em maior quantidade no sedimento em relação ao solo pode ser explicado pelo fato de ser a matéria orgânica o primeiro constituinte a ser removido pela erosão, considerando a sua alta concentração na superfície do solo e, principalmente, sua baixa densidade (Shick et al., 2000). Isso denota o caráter seletivo da erosão hídrica, que ao carregar as partículas mais finas, carrega a fração mais fértil do solo (Pomianoski, 2005).

É oportuno ressaltar ainda que essas perdas de matéria orgânica aumentam os riscos de diminuição da produtividade do Neossolo Flúvico, que já apresenta baixa fertilidade. Em face de suas propriedades de alta capacidade de troca de cátions, retenção de água, ação cimentante e substrato energético dos microorganismos, a matéria orgânica se torna o constituinte mais importante no que concerne à manutenção de sua fertilidade e resistência à erosão (Távora et al., 1985).

Tabela 12. Teores de carbono existentes no solo, no sedimento e perdas deste nutriente nas diferentes práticas conservacionistas estudadas.

Tratamento	Perda de carbono	Carbono no sedimento	Carbono no solo
	(Kg ha ⁻¹)	(Kg Kg ⁻¹)	(Kg Kg ⁻¹)
N1	17,68 b	0,042	0,0072
MA	30,68 ab	0,043	0,0058
N2	22,21 b	0,040	0,0067
CM	2,88 c	0,039	0,0111
CN	0,71 c	0,046	0,0176
D	54,68 a	0,044	0,0050

CV.: 16.04. Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

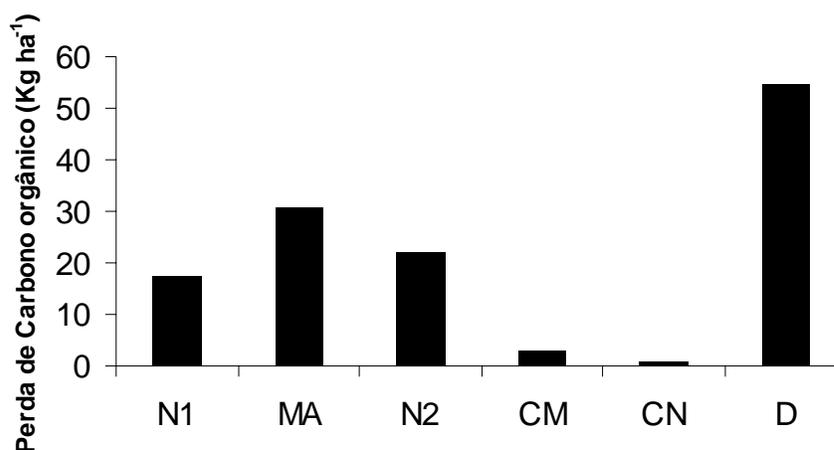


Figura 15. Perda de Carbono orgânico nas diferentes práticas conservacionistas estudadas. N1: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 0,50m; MA: cultivo morro abaixo; N2: cultivo em nível com barramentos em pedra, no espaçamento 1,00 m; CM: cultivo com cobertura morta de palha de feijão; CN: cobertura nativa; D: solo descoberto.

A Figura 16 ilustra a relação positiva entre perda de carbono orgânico e perda de solo, considerando que os tratamentos que apresentaram as menores perdas de solo (CM e CN) foram os que também apresentaram as menores perdas de carbono orgânico. Há

concordância com os resultados obtidos por Bertol et al. (2004), Segnfredo et al. (1997), Shick et al. (2000) e Castro et al. (1986).

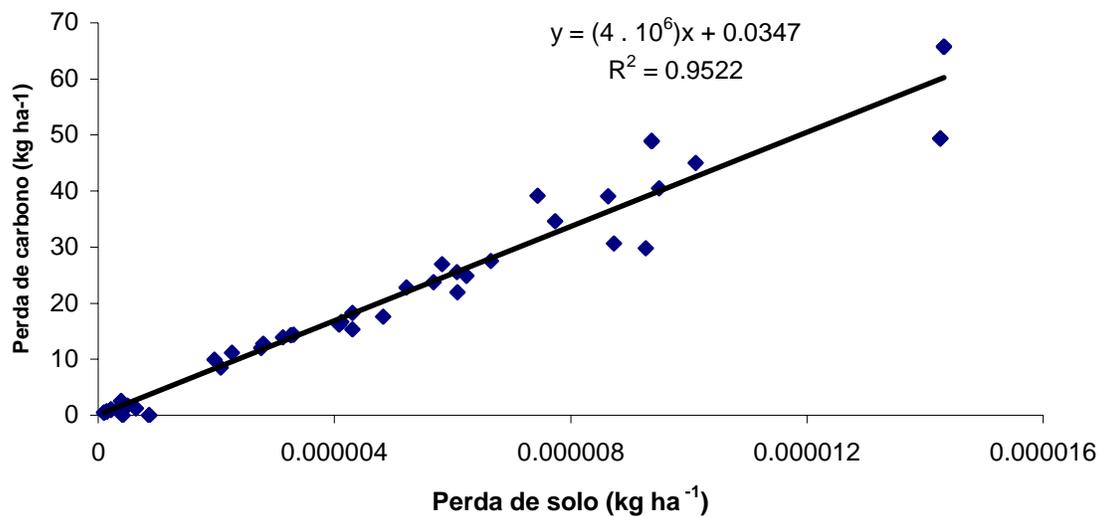


Figura 16. Relação entre as perdas de carbono orgânico e de solo nas diferentes práticas conservacionistas estudadas.

6. SÍNTESE

Dentro dos parâmetros avaliados, foi observado que as perdas de solo, as taxas de desagregação, a descarga líquida, a altura da lâmina de escoamento e a velocidade, o número de Reynolds, o número de Froude e a viscosidade cinemática, não apresentaram diferença com relação à fase na qual a cultura se encontrava, nos respectivos tratamentos aplicados.

Foi observado que em todos os tratamentos o regime de escoamento foi laminar lento, típico de erosão em entressulcos, fato evidenciado pelos valores de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1).

A presença de cobertura morta evitou a desagregação do solo, refletindo em menor quantidade de sedimento que foi transportado. Outro fator observado foi a redução da velocidade de escoamento, onde a presença da palha do feijoeiro proporcionou a tortuosidade do fluxo, aumentando a altura de lâmina de escoamento devido ao aumento da rugosidade.

A condição N1 apresentou-se mais eficiente com redução significativa de 26,31% nas perdas de solo em relação à condição N2.

Entre os parâmetros que apresentaram interação significativa entre tratamento e fase de desenvolvimento da cultura, encontram-se: cobertura vegetal, perda de água, rugosidade, umidade inicial, tempo de início de escoamento, taxa de infiltração básica e escoamento superficial.

Os tratamentos, os quais possuíam as maiores percentagens de cobertura vegetal apresentaram conseqüentemente, as menores perdas de água, como ocorreu com as condições CN e CM, seguidas das condições N1 e N2, onde a presença do barramento contribuiu para este fato.

Com relação às taxas de infiltração e escoamento superficial, verificou-se que a presença de cobertura vegetal e de barramento reduziram a velocidade da enxurrada e aumentaram a capacidade de infiltração da água no solo e conseqüentemente, ocorreu diminuição do escoamento superficial. Entre as condições em nível, N1 apresentou maiores taxas de infiltração em relação a N2.

Finalmente, os resultados do total de carbono orgânico perdido nos sedimentos das condições sem prática conservacionista revelaram quantidades significativas de carbono sendo transportado para as partes mais baixas do terreno, com uma redução de 67,66 e de 59,38% em relação às condições N1 e N2, respectivamente. As condições CM e CN apresentaram redução de 94,73 e de 98,70% em relação à parcela desmatada.

Com este trabalho esperava-se maior eficiência nos tratamentos onde se teve aplicação conjunta do plantio em nível com barramentos em pedras, talvez este fato não tenha ocorrido devido a altura destes barramentos, em torno de 5 cm, não ter sido eficiente na contenção da enxurrada. Sendo assim recomenda-se o uso de cordões de pedra, empilhadas a uma altura média de 40 cm aproximadamente, para maior efetividade desta prática conservacionista.

7. CONCLUSÕES

O regime de escoamento, em todos os tratamentos e em todas as fases, foi o laminar lento, indicando que ocorreu erosão entressulcos.

Entre as práticas conservacionistas estudadas, a cobertura morta apresentou redução da erosão do solo em relação às demais práticas.

O aumento do espaçamento entre os barramentos de 0,5 para 1,0 m mostrou-se menos eficiente na conservação do solo e da água.

Práticas simples como o cultivo em nível, barramentos em pedra, e o cultivo com a presença da cobertura morta, promovida pela palha de feijão, reduzem perdas provocadas por erosão, podendo ser um recurso utilizado por agricultores da região semi-árida como técnica de conservação do solo, da água e nutrientes.

As perdas de carbono orgânico foram altas nos sistemas não conservacionistas de manejo do solo em relação à adoção de práticas conservacionistas simples.

Os teores de CO correlacionaram-se linear e positivamente com as taxas de perda de solo nos tratamentos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKALU, K.O.; OLORUNFEMI, I.A.; OSUNBITAN, J.A. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigéria. *Bioresource Technology*, v.98, p.912–917, 2007.

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.

ALBUQUERQUE, A.W.; FILHO, M.G.; SANTOS, J.R.; COSTA, J.P.V.; DOUZA, J.L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v.9, n.2, p.153-160, 2005.

ALLMARAS, R.R. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. *Conservation Research Report*. Washington, n.7, p.22, 1966.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, n.1, p.127-132, 1995.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F; MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.124-130, 2001.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A. & PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.2, n.2, p. 337-344, 2002.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T., SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v.7, n.2, p. 191-196. 2003

AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo de resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.1, p.151-157, 1989.

ANDRADE, R.S.; MOREIRA, J.A.A; STONE, L.F.; CARVALHO, J.A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.35-38, 2002.

ARAÚJO, J.A.C. Análise do Escoamento Superficial na Bacia de Contribuição do Perímetro Irrigado da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2001. 108p.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.3, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 54, p. 101-109. 2000.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, VISENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.455-464. 2002.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, n.2, p.267-271, 1994.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, v.58, n.3, p.555-560, 2001

BERTOL I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

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. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2005. 209p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4.ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. & TARQUI, J.L.Z. Características do escoamento superficial e taxas de erosão em uma área sob cultivo agrícola. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. 5.; São Paulo, 2002. Anais. São Paulo, ABRH, p. 403-411. 2002

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.

BEZERRA, S.A. Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2004. 51p.

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.

BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D.; RUIZ, H.A.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. MARTINEZ, M.A.; MENEZES, S.J.M.C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, n.1, p.13-22. 2006a.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Infiltração da Água no Solo. 3 ed. Viçosa, UFV, 2006b. 120p.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F. & SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. Viçosa, UFV. 2003. 98p.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo de resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.14, n.1, p.227-234, 1990.

CARVALHO, F.L.C. Relação da erosão hídrica do solo com doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1986. p.135.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M. Caracterização hidráulica e transporte de sedimentos na erosão em entressulcos. In: Anais do XIII REUNIÃO

BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Ilhéus, Anais...2000.

CASSOL, E.A.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.7, p.685-690, 2004.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCHI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, n.3, p.705-12, 2002.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P.; VOLK, L.R.S. Alterações na rugosidade superficial do Solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. Revista Brasileira Ciência do Solo, v.30, n.3, p.339-352, 2006.

CASTRO, O.M.; LOMBRADO NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, n.3, p.293-297, 1986.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

COELHO, R.D.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N. Infiltração de água no solo: Parte I. Infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p.137-141, 2000.

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, p.75-98, 1978.

CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R. Levantamento detalhado de solos da fazenda Nossa Senhora do Rosário (Pesqueira – PE). Relatório técnico, Convênio: UFRPE/UFPE/CNPq/BNB. 2001, 35p.

COSTA, E.L.; SILVA, A.M.; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método os anéis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.131-134, 1999.

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*, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n.6, p.1105-1112, 2003.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.4, p.1047-1054, 2002.

DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Dissertação de Mestrado. Universidades Federais de Santa Maria, 1993. 150p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARENHORST, A.; BRYAN, R. B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. *Catena*. Cremlingen- Destedt, v.25, n.2, p.47-62, 1995.

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. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.307-312. 2006.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. (Ed.). *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982. p.297-380. (Monograph 5).

GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.5, p.1927-1937, 2000.

GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas pressurizados aspersão e gotejamento. João Pessoa: UFPB. 1994. 344p

HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 324p.

- IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V., MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.3, p.660-670, 2005.
- JULIEN, P.Y. Erosion and sedimentation. Melbourne: Cambridge University Press, 1995. 280p.
- KATZ, D. M.; WATTS, F.J.; BURROUGHS, E. R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, New York, v.121, n.1, p.547-553, 1995.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.
- LAL, R. & GREENLAND, B.J. Soil physical properties and crop production in tropics. Chichester: John Wiley, 1979. p.85.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.5, p.1033-1044, 2004.
- LEVIEN, R.; COGO, N.P. & ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, n.1, p.73-80, 1990.
- LONGO, J.V. Fracionamento e caracterização de substâncias húmicas em materiais de solos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. 1982. 66p
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n.3, p.193-197, 1987.
- MANNERING, J.V.; MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.27, n.1, p.84-86, 1963.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. DA.; JACQUES, F. DE O. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru-PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.1, p.165-169, 1985.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perda de solo e água pela erosão em ecossistema florestal na região de Aracruz no estado do Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira Ciência do solo*, v.27, n.3, p.395-403, 2003.

MELLO, E. L. et al. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 5, p.901-909, 2003.

MEYER, L.D.; MANNERING, J.V. The influence of vegetation mulch on soil erosion. In: *International Seminar of Hydrology Professors*, 3., West Lafayette, Indiana, 1971. Biological effects in hydrological cycle. West Lafayette, Purdue University, p.355-366, 1971.

MEYER, L.D.; FOSTER, G.R.; RÖMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. Washington, USDA-Agricultural Research, p.177-189, 1975.

MEYER, L.D. & HARMON, W.C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, v.1: p.100-103. 1979.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; SOBRINHO, T. A.; NUNES, A. C. S. & RUBIO, E. 2001. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.5, n.1, p.1-5. 2001.

MONTENEGRO, A.A.A.; CORREA, M. M.; SILVA, V.P.; ARAÚJO, J.A.C.; MOURA, R.F.; CANTALICE, J.R.B.; ARAÚJO, T.C; NASCIMENTO, J.; SANTOS, T.E.M. Caracterização Preliminar da Bacia Experimental do Riacho Jatobá, PE. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 2003, Curitiba-PR. Anais do Simpósio. Porto Alegre-RS: ABRH, 2003.

MONTENEGRO, A.A.A.; NASCIMENTO, J.; CORREA, M.M.; SILVA, V.P.; MOURA, R.F.; RIBEIRO, M.R.; MONTENEGRO, S.M.G.L; SANTOS, T.E.M. Implantação e Monitoramento da Bacia Experimental do riacho Jatobá. In: *Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. São Luis, Anais..., 2004.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.10, n.1, p.30-37, 2006.

OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, v.5, p.35-70. 1988.

ONSTAD, C. A. Depressional storage on tilled soil surfaces. *Transactions of the ASAE*, v.27, n.1, p.729-732, 1984.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; SILVA, J.M.; COSTA, T.L.; FEITOSA, R.M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, n.1, p.1-11, 2004.

PALIS, R.G.; OKWACH, G.; ROSE, C.W.; SAFFIGNA, P.G. Soil erosion processes and nutrient loss. I. The interpretation of enrichment ratio and nitrogen loss in runoff sediment. *Journal Soil Research*, v.28, n.3, p.623-639, 1990.

PAN, C.; SHANGGUAN, Z. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. *Journal of Hydrology*, v.331, pp.178-185. 2006.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. *Maringá*, v.28, n.1, p.129-137, 2006.

PEREIRA, SILVIO B., PRUSKI, Fernando F., SILVA, Demetrius D.; MATOS, A.T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.423-429. 2003.

PEREIRA, S.B. Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 2000. 81p.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M. Práticas mecânicas de conservação do solo e da água. Viçosa: UFV. 2003. 176p.

PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.41, n.4, p.687-695, 2006

POMIANOSKI, D.J. W. Perdas de solo e água em sistemas agroflorestais da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em diferentes declividades e manejos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 94p.

POTT, C.A.; DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.1, p.19-27, 2003.

PRUSKI, F.F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa, UFV, 2006. 240p.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Ed. Manole. Piracaba, 1990. 188p.

REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S. Salpico de partículas e escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.3, p.390-6, 1992.

SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V.S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.92-96, 2000.

SANTOS, T.E.M.; SILVA, J.R.L.; ANDRADE, T.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA JÚNIOR, V.P.; SANTOS, E.S. Índice de erosividade (EI_{30}) das chuvas para a bacia experimental do Jatobá, no semi-árido pernambucano. In: *Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Gravatá, Anais..., 2006.

SAS Institute, Inc. The SAS System for windows: Release v. 6.8, Cary, 1998. 1 CD-ROM.

SCHAEFER, C. E. R., D. D. SILVA, K. W. N. PAIVA, F. F. PRUSKI, M. R. ALBUQUERQUE FILHO & M. A. ALBUQUERQUE. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.5, p. 669-678. 2002.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JR., A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.4, p.427-436, 2000.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.2, p.287-291, 1997.

SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T. CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.144-153, 2005a.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; AMORIM, R.S.S.; PAIVA, K.W.N. efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho Amarelo utilizando simulador de chuva. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419. 2005b.

SIMONS, D.B. & SENTURK, F. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. In: Water resources publications. 2.ed. Colorado, 1992. 897p.

SOUZA, M.D. Desenvolvimento e Utilização de um Simulador de Chuvas para Estudos de Atributos Físicos e Químicos do Solo Relacionados a Impactos Ambientais. Jaguariúna, EMBRAPA. 2004. 18p.

STEVENSON, F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2.ed. New York: John Wiley, 1994. 496p.

TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.C.R.; HERNÁNDEZ, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, E.G.S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.9, n.4, p.63-66, 1985.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, n.2, p.763-774, 2004.

WEST, L.T.; MILLER, W.P.; LANGDALE, G.W.; BRUCE, R.R.; LAFLEN, J.M.; THOMAS, A.W. Cropping system effects on interrill soil loss in the Georgia Piedmont. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.55, n.2, p.460-466. 1991.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Ed.). Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.249-292. 2002.

ANEXO

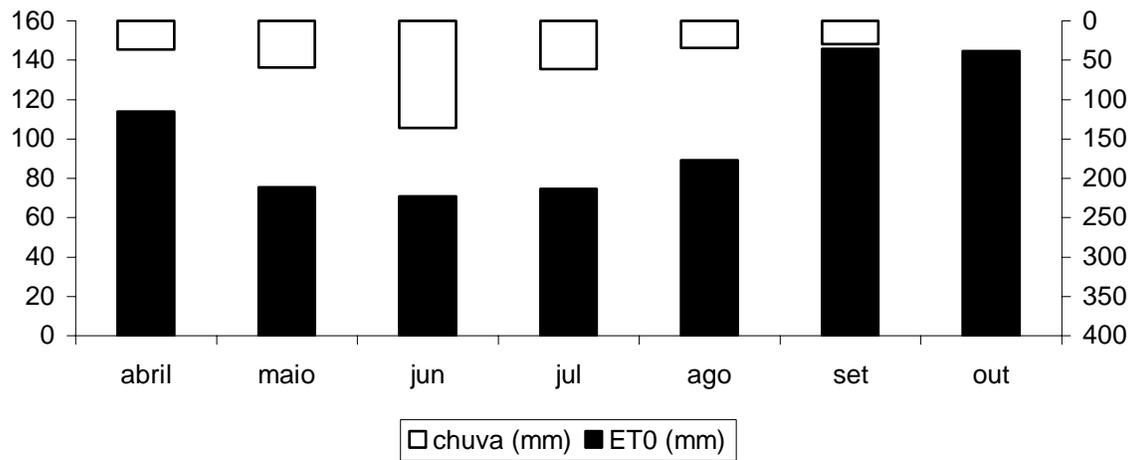


Figura 17. Distribuição da precipitação natural (mm) e da evapotranspiração (mm) para os meses de abril a outubro, época de realização do experimento em campo.