UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRICOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CICERO LIMA DE ALMEIDA

IMPACTO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA SOBRE AS RESPOSTAS HIDROLÓGICAS E SEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

FORTALEZA – CE
2011

CICERO LIMA DE ALMEIDA

IMPACTO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA SOBRE AS RESPOSTAS HIDROLÓGICAS E SEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo

FORTALEZA
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

A445e Almeida, Cícero Lima de.
Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido / Cícero Lima de Almeida. – 2011.
132 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.
Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

1. Solos - Degradação. 2. Encostas (Geográficas). 3. Degradação ambiental. I. Título.

CDD 630

CICERO LIMA DE ALMEIDA

IMPACTO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA SOBRE AS RESPOSTAS HIDROLÓGICAS E SEDIMENTOLÓGICAS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em 09 de setembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. José Gerardo Beserra de Oliveira
Avaliador Externo

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará – UFC
Avaliadora Interna

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará - UFC
Avaliador Interno

A meu pai Francisco Alves de Almeida e meu padrasto Teodoro Lopes de Sousa.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos derramadas em todos os dias da minha vida;

A minha esposa Aldênia e minha filha Sofia, pelo amor de todas as horas, em especial na execução e conquista de mais uma etapa da minha vida;

A minha mãe, Francisca Sampaio (Neta) e meus avós Raimundo Pereira e Fransquinha Sampaio, pelos princípios familiares e morais transmitidos ao longo dos anos;

Às minhas irmãs, Alzenete Sampaio e Francisca Notre-Dame (Dodó), a meu cunhado e amigo Valdênio, minha sogra Mocinha e meu sogro Raimundo Mascena e minha cunhada Valdênia , pelo incentivo a trilhar os caminhos que aqui me trouxeram;

A toda a minha família que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos;

Ao Orientador José Carlos de Araújo, não apenas pelo conhecimento transmitido, mas também pela amizade, companheirismo e disposição para ouvir, discutir e cobrar de forma a contribuir para meu desenvolvimento humano e profissional;

Aos professores José Gerardo de Oliveira e Marta Celina Linhares, pela colaboração e pela amizade prestada em todos os momentos;

Ao professor Marcos Bezerra Oliveira e a professora Mirian Cristina Gomes Costa pela colaboração no resultado final deste trabalho.

A todos aos amigos do Grupo Hidrosed: Mario Wiegand, José Vidal, Laudiane Pinheiro, Pedro Medeiros, Iran Lima Neto, Yuri Castro, Adriana, Tereza, Leonardo Shiram, Diego, Carol, Everton, Wellington PET e Wellington Economista, Alexandre Cunha, Marcelo, Débora, Efrain, Eliakin por sempre estar dispostos a colaborar com o trabalho, e fazer desse grupo uma família.

Em especial aos *engrongados*: Cristian Epifânio, Marcos Meireles, José Teixeira (JJ), que compartilharam comigo todos os momentos deste trabalho, principalmente nas dificuldades encontradas no trabalho de campo.

Ao Chico Néo, Dona Irian, João e sua família por me receber tão bem em sua casa, além do apoio nesta pesquisa na instalação e coleta de dados;

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola: Julien Burten, George Mamede, Luiz Alberto Mendonça, Claudivan Lacerda, Eunice Andrade, Nonato Costa,

Renildo Mion, Adunias Teixeira, Camboim Neto, Albanisia, Tales Viana, João Hélio Torres e aos funcionários Manuel Jacó, Almiro Medeiros, Firmino Canafístula e Ana Maria, pela oportunidade e disponibilidade de colaborar na realização deste trabalho;

Aos companheiros e colegas da UFC: Hernandes (Carioca), Sávio Fontenelle, Geocleber, Luiz Carlos, Fernando, Deusiane, Luiza, Leandro, Clênio, Dimas, Ana Paula, Junior, Lucas, Gabriel, Ricardo, Newdmar, Mario, Julio Cesar, Carlos Levi; Breno Magalhães, José Augusto, Leonardo, Monique, Keivia, Asdrúbal Arraes e todos que estão ou estiveram comigo nesta caminhada.

À Universidade Federal do Ceará, de modo especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso, além da realização das analises de solo e água, que geraram os resultados deste trabalho;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo;

A FUNCAP pelo financiamento do projeto FCPC/FUNCAP 06/08 – GPF: 2147

Ao amigo Calixto, que teve participação especial neste trabalho e que nos deixou tão inesperadamente;

A todos os professores que tiveram passagem na minha vida, desde o início pela Escola Padre João Antônio, Murilo Serpa, Alfredo Nunes de Melo, em especial ao Instituto CENTEC responsável pela minha primeira graduação em Tecnologia em Recursos Hídricos/Irrigação e Drenagem, a Universidade Federal do Ceará no curso de Administração no Cariri e agora com a Pós Graduação no Campos do Pici, pelas disciplinas cursadas e pelos valores, convívio e conhecimentos transmitidos.

Ao todos os amigos e colegas que fizeram e fazem parte da minha vida: em especial Marcelo Gaspar, Pedro Renato, Andson Costa e Raimundo Teixeira por participarem de forma especial na minha vida;

E finalmente, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram com seu apoio indispensável para a realização desta dissertação;

A contribuição de cada um foi especial e de grande valor para a realização deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional.

Muito obrigado!

“Sobre a terra viverá eternamente o homem, se bem dela cuidar”

(Cicero Lima de Almeida)

RESUMO

ALMEIDA, Cicero Lima de. Universidade Federal do Ceará, Setembro 2011. **Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido.** Orientador: José Carlos de Araújo. Examinadores: José Gerardo Beserra de Oliveira, Francisco Marcus Lima Bezerra, Mirian Cristina Gomes Costa.

As regiões semiáridas compreendem áreas muito sensíveis às alterações do seu ambiente natural. O semiárido brasileiro, por ser um dos mais populosos do mundo, está mais susceptível às atividades antrópicas, como o desmatamento para atividades agrosilvopastoris. Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do projeto "Estudos dos processos de degradação/desertificação e suas relações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral – Ceará". A área experimental localiza-se no município de Irauçuba, inserida em um dos núcleos de desertificação do semiárido brasileiro. O clima da região é do tipo quente e semiárido com chuvas de verão (média anual de 530 mm) e índice de aridez 0,34. O solo é do tipo Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco; e a vegetação nativa é do tipo Caatinga arbustiva aberta. A principal atividade econômica da região é a pecuária extensiva (bovino e ovino) em sobrepastejo, sem uso de práticas conservacionistas. O presente trabalho tem como objetivo comparar os processos hidrossedimentológicos de duas encostas em ambiente semiárido: uma (370 m²) está submetida à prática de **pousio** desde 2000; enquanto que a outra (468 m²) se encontra **degradada**, sendo usada como área de pastagem há mais de vinte anos. As duas encostas possuem as mesmas condições de solo, clima e relevo, diferenciando-se somente quanto ao uso e à cobertura do solo. São comparadas analiticamente variáveis hidrológicas e sedimentológicas. Os experimentos foram realizados entre 01 de janeiro de 2010 e 15 de abril de 2011. Para promover essa comparação foram coletados dados de precipitação (lâmina e intensidade), escoamento superficial e perda de solo. A precipitação foi de 264 mm em 2010 e de 445 mm até 15 de abril de 2011, tendo sido registrados 55 eventos nos 16 meses. As chuvas de Irauçuba demonstraram alta variabilidade espacial: há diferença estatística (nível de significância de 5%) entre os dois pluviômetros usados na pesquisa, embora estejam a uma distância de apenas 200 m. O padrão hidrológico das chuvas na região é de intermediário a atrasado (70% dos eventos), o que causa maior potencial erosivo. Conclui-se, a partir da análise comparativa, que os dez anos de pousio reduziram em 60% o escoamento superficial em relação à encosta degradada. A menor precipitação capaz de gerar escoamento superficial foi 7,2 mm na encosta degradada, enquanto que esse valor foi de 8,6 mm para a encosta em pousio. Isso demonstra o incremento de abstração inicial da encosta preservada, ou seja, sua maior capacidade de retenção de umidade. O incremento da capacidade de retenção se dá através da interceptação vegetal, da serrapilheira e da camada superficial do solo. No entanto, observou-se que a maior precipitação incapaz de gerar escoamento superficial foi idêntica (17 mm) nas duas encostas. A explicação para tal resultado é que o parâmetro dominante nesse processo é a estrutura do solo: embora haja diferenças na superfície dos solos, os dez anos de pousio ainda não foram capazes de alterar sua estrutura, conforme avaliou Sousa em pesquisa independente. Observou-se que a taxa de decaimento da vazão foi sensivelmente afetada pela prática de pousio: a taxa, de 0,107 min^{-1} na encosta degrada, decresceu para 0,045 min^{-1} na encosta preservada. A menor

taxa de decaimento de vazão na encosta em pousio indica o início da recuperação de seu escoamento de base, o que favorece maior permanência da água no corpo hídrico. Os dez anos de pousio também foram capazes de reduzir a perda de solo. Essa redução, de 83% em relação à encosta degradada, induz à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, responsáveis pelo incremento da produção vegetal. Conclui-se, com base nos experimentos aqui realizados, que os dez anos de pousio melhoraram, de modo mensurável, as condições hidrológicas e sedimentológicas na encosta semiárida. A prática de pousio, portanto, pode ser adotada para fins de recuperação de áreas de Caatinga degradada. Sugere-se que sejam realizadas novas investigações, que avaliem a associação dessa prática a outras, a fim de intensificar o processo de recuperação de áreas degradadas no semiárido.

Palavras Chave: Pousio. Encosta. Escoamento superficial. Perda de solo.

ABSTRACT

ALMEIDA, Cicero Lima de. Universidade Federal do Ceará, September 2011. **Impact of the recovery of a degraded area on the hydrological and sedimentary responses in semi-arid environment**. Advisor: José Carlos de Araújo. Examiners: José Gerardo Beserra de Oliveira, Francisco Marcus Lima Bezerra, Mirian Cristina Gomes Costa.

The semi-arid zones encompass areas that are highly sensitive to environmental changes. The Brazilian semi-arid zone, one of the world's most populous such zones, is one of the most susceptible to human activities such as deforesting (usually to open space for farming or pasture land). This research was developed under the project "Estudos dos processos de degradação/desertificação e suas relações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral – Ceará" (*Studies of the processes of degradation / desertification and its relationship with land use in production systems in the semi-arid region of Ceará: the case of the Sobral – Ceará micro-region*). The experimental area is located in the municipality of Irauçuba, which is inserted in a desertification nucleus of the Brazilian semi-arid zone. The climate is of the hot and semi-arid type with summer rainfall (annual average 530 mm) and aridity index of 0.34. The soil is typical Orthic Natraqualf, weak, and the native vegetation is of the Caatinga scrub and scrubby tree type. The main economic activitiy in the region is cattle in overgrazing, without the use of conservation practices. This study aims to compare the hydrological and sedimentary processes in two slopes in semi-arid environment: a hillslope (370 m²) is subjected to the practice of fallow since 2000, while the other hillslope (468 m²) is degraded, being used as grazing area for more than twenty years. The two hillslopes have the same soil conditions, climate and topography, differing only in the use and land cover. Hydrological and sedimentological variables are analytically compared. The experiments were carried out between January first (2010) and April 15th, 2011. In order to promote this comparison, rainfall data (level and intensity), runoff and soil loss data were collected. The rainfall was 264 mm in 2010 and 445 mm in 2011 (limited to 15th April), having been registered 55 events in the 16 months. The rains in Irauçuba showed high spatial variability: There was statistical difference (significance level of 5%) between the two rain gauges used in the research, although the distance between them is just 200 m. The hydrological rainfall pattern in the region is intermediate to late (70% of events), resulting in higher erosion potential. It is concluded from the comparative analysis, that the ten years of fallow reduced by 60% the runoff relatively to the degraded slope. The lowest rainfall capable of generating runoff was 7.2 mm on the degraded slope, whereas this value was 8.6 mm for the fallow slope. This demonstrates the increase in initial abstraction of the preserved slope, i.e., its higher capacity to retain moisture. The increase in storage capacity is due to trapping vegetation, organic (mostly plant) residues and topsoil. However, we found that the highest rainfall still unable to generate runoff was similar (17 mm) on both slopes. The explanation for this result is that the dominant parameter in this process is the soil structure, and even with the differences in the surface soils, the ten years of fallow have not been able to change this structure, as assessed in independent research by Sousa. It was observed that the decay rate of flow was significantly affected by the practice of fallow: the rate of 0.107 min^{-1} in the decayed slope, decreased to 0.045 min^{-1} in the preserved slope. The lower rate of decay of the fallow slope flow indicates the beginning of the recovery of its base flow, which

promotes better water retention in the water body. The ten years of fallow were also able to reduce soil loss. This reduction of 80% compared to the degraded slope, leads to improvement of physical, chemical and biological soil conditions responsible for the increase in crop production. We conclude, based on our experiments, that the ten years of fallow improved measurably sedimentological and hydrological conditions in the semi-arid at the hillslope scale. The practice of fallow, therefore, can be adopted for recovery of degraded Caatinga areas. It is suggested that further research be conducted, to assess the effects of the association of this practice with others in order to intensify the process of recovery of degraded areas in semi-arid regions.

Keywords: Fallow. Slope. Surface runoff. Soil losses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD de acordo com o PAN BRASIL. 29

Figura 2 Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. 44

Figura 3 Mapa de uso e ocupação do solo na área susceptível a desertificação de Irauçuba (ASD – I). Localização da encosta em pousio (EI) e da encosta degradada (EII), destacando-se o contraste da cobertura do solo entre as duas áreas. 46

Figura 4 Mapa da altitude e declividade da encosta em pousio e da encosta degradada, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce. 49

Figura 5 Fotos dos pluviômetros *Ville de Paris* e das caixas coletoras de escoamento superficial e de sedimentos, instalados no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce: (a) encosta em pousio; e (b) encosta degradada. 53

Figura 6 Registro de dados na coleta de campo: (a) observação da vazão de pico por meio da marca deixada pela água com sedimento que passou pela *Calha Parshall* e vazão instantânea; (b) registro do volume captado pelas caixas d'água em escoamento na encosta degradada – EII. 55

Figura 7 Precipitação anual, precipitação média anual e erro médio do posto pluviométrico da FUNCEME no município de Irauçuba – Ce, no período de 1981 a 2010. 69

Figura 8 Vista das caixas coletoras da encosta degradada após ruptura por ocasião da chuva (a) reinstalação das caixas coletores devido a quebra pelos eventos ocorridos no dia 02 e 05 de abril de 2010; (b) caixa coletora quebrada devido ao escoamento ocorrido no dia 25 de janeiro de 2011. Sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce. 70

Figura 9 Área descoberta no contorno da encosta em pousio (EI), conforme indicação da seta. A área, que se encontra entre a *exclusão* e a mureta de delimitação da encosta, é a provável responsável pelo registro de escoamento (desprezível) nos eventos de 16 mm dos dias 19 e 26 de janeiro de 2010. 72

Figura 10 Classificação da pluviometria registrada na encosta em pousio, EI e na encosta degrada, EII: (a) número de eventos por classe de chuva; (b) volume acumulado de chuva em classe de precipitação, no período de janeiro 2010 a 15 de abril de 2011, no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce. 74

Figura 11 Erosividade *versus* precipitação obtida em seis eventos, no sitio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, abril de 2010 a março de 2011. 77

Figura 12 Coeficiente de escoamento superficial de 15 dos 21 eventos registrados na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) e sua pluviometria, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011..... 80

Figura 13 Relação e correlação (R^2) entre o escoamento superficial na encosta em pousio (EI) *versus* a encosta degradada (EII): (a) análise dos 15 eventos medidos no período de estudo; (b) primeiro período entre 01 de janeiro de 2010 e o dia 20 de fevereiro de 2011; e (c) segundo período do dia 25 de fevereiro de 2011 ao dia 15 de abril de 2011..... 81

Figura 14 Umidade do solo e cobertura vegetal: (a) área em pousio no dia 27 de fevereiro de 2011, com destaque a retenção de água na camada superficial do solo promovida pela camada de impedimento logo abaixo; (b) área em degradação no dia 28 de abril de 2011, destaque para o solo com alta umidade e acúmulo de água na camada de dez a quinze centímetros, também promovidos pela camada de impedimento..... 83

Figura 15 Perda de solo em 14 dos 21 eventos registrados nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011. 86

Figura 16 Concentração de sólidos voláteis na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) e sua precipitação por evento, no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba - Ce. 89

Figura 17 Fator SDR*C *versus* escoamento superficial na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII). 93

Figura 18 Fator SDR*C *versus* escoamento superficial: (a) encosta em pousio e (b) encosta degradada..... 94

Figura 19 Análise dos valores simulados *versus* obtidos do fator SDR*C e o coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio (EI) e (b) encosta degradada (EII)..... 95

Figura 20 Hidrograma de vazão e volume acumulado na encosta degradada (EII) em evento registrado com precipitação de 18,6 mm no dia 27 de fevereiro de 2011. 97

Figura 21 Curva da vazão de recessão do escoamento superficial no evento do dia 27 de fevereiro de 2011, com precipitação de 18,6 mm: (a) encosta degradada (EII) e (b) encosta em pousio (EI)..... 97

Figura 22 Velocidade de infiltração *versus* tempo e sua Velocidade Básica de Infiltração, VIB: (a) encosta em pousio (EI); e (b) encosta degradada (EII), no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce 99

Figura 23 Composição da vegetação nas duas encostas: (a) área degradada (EII), destacando-se a cobertura do solo, o relevo suave e a presença do capim-panasco em dezembro de 2009; (b) área degradada (EII), destacando-se a ausência do capim-panasco em agosto de 2010; (c) área em pousio - EI, destacando-se a proteção formada pelo estrato vegetal superior (jurema) e inferior (cobertura morta) no final de janeiro de 2011; e (d) área em pousio (EI) e área adjacente, apresentado o estrato intermediário (vegetação herbácea) já protegendo o solo no final de fevereiro. 102

Figura 24 Perda de solo *versus* escoamento superficial, determinados em campo na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce. 104

Figura 25 Logaritmo da perda de solo *versus* logaritmo do escoamento superficial dos resultados decampo, na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011..... 106

Figura 26 Perda de solo obtida e simulada pelo método curva-chave (relação linear –CClin; e relação potencial – CCpot) com seus respectivos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio (EI); e (b) encosta degradada (EII). 106

Figura 27 Perda de solo medida e simulada pela associação da EUPS*SDR com seus respectivos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio, EI; e (b) encosta degradada, EII. 107

Figura 28 Reta da perda de solo medida *versus* a perda de solo estimada pelos métodos curva-chave de relação linear (CClin) e relação potencial (CCpot) e pelo método EUPS*SDR, com seus respectivos coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio, EI; e (b) encosta degradada, EII. 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores do índice de aridez para os vários climas do planeta 28

Tabela 2 Atributos físicos e granulometria do solo sob as áreas de exclusão de animais (EI) e de sobrepastejo (EII) no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, abril de 2011 47

Tabela 3 Atributos químicos do solo sob as áreas de exclusão de animais (EI) e de sobrepastejo (EII) no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, abril de 2011 47

Tabela 4 Principais características morfológicas do solo nas duas encostas EI e EII, localizadas no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba – Ce 48

Tabela 5 Características físicas da encosta em pousio (EI) e da encosta degradada (EII), sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce 50

Tabela 6 Limites do tamanho das partículas finas do solo a serem utilizadas na determinação do fator K 58

Tabela 7 Códigos de permeabilidade e estrutura do solo em função de sua textura para uso no nomograma de Wischmeier para obtenção do fator K..... 58

Tabela 8 Coeficiente de velocidade de escoamento em superfícies e calhas rasas 61

Tabela 9 Taxas de infiltração de água no solo propostas por diferentes pesquisadores para a classificação do solo, segundo os grupos definidos pelo SCS-USDA para utilização no método do número da curva..... 63

Tabela 10 Análise comparativa da precipitação da encosta em pousio e da encosta degradada e o nível de significância entre as chuvas registradas nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba – Ce em 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 71

Tabela 11 Precipitação, duração e padrão das chuvas registradas pelo Pluviômetro de Báscula automático, no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, no período de abril de 2010 a abril de 2011 75

Tabela 12 Erosividade, intensidades média e máximas nos intervalos de tempo de 5 e 30 minutos dos eventos registrados pelo Pluviômetro de Báscula automático, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, no período de abril de 2010 à abril de 2011 76

Tabela 13 Parâmetros estatísticos do coeficiente de escoamento (Cr) e do potencial de arraste de sedimento (PAS) nas duas encostas de estudo, sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 79

Tabela 14 Resumo dos resultados sobre a concentração de sedimentos e nível de significância do Teste F para as duas encostas em estudo, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 84

Tabela 15 Erodibilidade média e das camadas de 0–20 cm e de 20–40 cm do Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco, determinados por dois métodos no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 91

Tabela 16 Resumo dos fatores usados para a determinação da potência de corrente na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a abril de 2011 96

Tabela 17 Valores de CN para as três condições de umidade antecedente do método SCS, calibrados e validados pelo coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES, para encosta em pousio (EI) e encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 98

Tabela 18 Número da curva (CN) para bacias agrícolas nas condições de umidade antecedente normal (AMC II) 99

Tabela 19 Escoamento superficial (H) e precipitação (P) na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011..... 101

Tabela 20 Resposta hidrológica de dois eventos de mesma altura pluviométrica na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII), no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce 105

Tabela 21 Resumo dos valores e equações dos parâmetros usadas na determinação da perda de solo nas encostas pelo método associado EUPS*SDR 108

Tabela 22 Perda de solo anual estimada (Mg ha^{-1}), para a encosta em pousio (EI) e para a encosta degradada (EII) através dos dois métodos de determinação da Curva-chave e o modelo EUPS*SDR e relação da diferença percentual entre o modelo EUPS*SDR com os métodos de curva-chave... 111

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO DE LITERATURA 22
2.1 Bacia hidrográfica 22
2.2 Hidrologia 23
2.3 Hidrologia no semiárido 24
2.4 Degradação do solo 26
2.5 Desertificação 27
2.6 Precipitação 30
2.7 Erosão hídrica 34
2.8 Equação universal de perda de solo – EUPS 35
2.8.1 Erosividade das chuvas (R) 36
2.8.2 Erodibilidade do solo (K) 37
2.8.3 Fator topográfico (LS) 38
2.8.4 Fator uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas (CP) 38
2.9 Razão de aporte de sedimento (SDR) 39
2.10 Método SCS 40
3 MATERIAL E MÉTODOS 43
3.1 Caracterização da área de estudo 43
3.2 Pluviometria 51
3.3 Erosividade da chuva 51
3.4 Padrão hidrológico das chuvas 52
3.5 Escoamento Superficial 53
3.6 Perda de solo 55
3.7 Potencial de araste de sedimento 57
3.8 Erodibilidade do solo 57
3.9 Determinação do fator topográfico (LS) 59
3.10 Associação da razão de aporte de sedimentos com o fator cobertura e uso do solo (SDR*C) 60
3.11 Potência de corrente 60
3.12 Método SCS para preenchimento de falhas 62
3.13 Estimativa da perda de solo anual no período de 2010 e 2011 66
3.13.1 Método 1 – Curva-chave da perda de solo (P.S) *versus* escoamento (H) 66
3.13.2 Método 2 – EUPS*SDR 67

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 69
4.1 Precipitação 69
4.2 Padrão hidrológico das chuvas 74
4.3 Intensidade e erosividade das chuvas 76
4.4 Escoamento superficial 78
4.5 Concentração de sedimentos 84
4.6 Perdas de solo 85
4.7 Potencial de arraste de sedimento 87
4.8 Análise dos sedimentos 89
4.9 Erodibilidade do solo 90
4.10 Fator topográfico 92
4.11 Fator composto SDR*C 92
4.12 Potência de corrente 95
4.13 Hidrograma do evento do dia 27 de fevereiro de 2011. 96
4.14 Calibração e validação do método SCS 98
4.15 Estimativa da perda de solo anual 2010 e 2011 103
4.15.1 Modelo 1 – Curva-chave de sedimentos 103
4.15.2 Modelo 2 – EUPS*SDR 107
4.16 Modelo curva-chave versus modelo EUPS*SDR 108
5 CONCLUSÃO 113
REFERÊNCIAS 115
ANEXO A – Precipitação, perda de solo, escoamento superficial e potencial de arraste de sedimento medido e modelado no ano de 2010 e 2011. 128
ANEXO B – Dados da Avaliação da Modelagem da perda de solo da encosta em pousio e da encosta degradada 130
ANEXO C – Descrição dos equipamentos instalados nas duas encostas de estudo 131
ANEXO D – Evolução da cobertura vegetal na encosta degradada no período de estudo 132

1 INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas do mundo possuem grande potencial produtivo, sendo responsáveis por 22% da produção mundial de alimentos. A desertificação vem afetando diretamente esse potencial, diminuindo a qualidade de vida das populações, principalmente aquelas rurais e de baixa renda no aspecto social, econômico e ambiental (MATALLO JUNIOR, 1999, 2003).

Sabe-se que quase um terço de toda a superfície emersa da terra é composto por regiões semiáridas. Estima-se que cerca de 20% de toda a população mundial vivam nessas regiões (GAISER; FERREIRA; STAHR, 2003; MATALLO JUNIOR, 2001). A região do Nordeste Brasileiro compreende um desses ambientes semiáridos, no qual ocorrem secas prolongadas que causam degradação dos recursos naturais e das condições de vida da população (GAISER; FERREIRA; STAHR, 2003). O semiárido Brasileiro abrange uma área de quase um milhão de km², abrigando uma população em torno de 20 milhões de habitantes. Está situado dentro de um ecossistema de extrema fragilidade, marcado por alta variabilidade das chuvas (temporal e espacial), com elevados índices de evaporação, com histórico marcado com alternância de anos seguidos secos e outros chuvosos (DUQUE, 2004; AGUIAR, 1978 *apud* MOLLE, 1994). A principal fonte de abastecimento hídrico dessa região são as águas superficiais acumuladas nos reservatórios, onde já se presencia o conflito pela água (ARAÚJO, 2003).

A intensificação da exploração do homem sobre os recursos naturais dessas regiões tem causado a degradação do solo, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade, que somados aos fatores socioeconômicos e a uma possível alteração das condições climáticas, local ou regional, vem dando início ao processo chamado desertificação. Devido à maior fragilidade ambiental que apresentam as regiões semiáridas, as modificações antropogênicas promovem maior impacto sobre o ambiente. Vários estudos procuram associar as atividades humanas como as principais responsáveis pelo início do processo de desertificação estando consubstanciado nos documentos resultantes das Conferências de Nairóbi de 1977 e da Convenção Rio-92, por meio do Plano Mundial de Ação contra a Desertificação, a Agenda 21 e a Convenção sobre Desertificação (SCHENKEL; MATALLO JUNIOR, 1999).

Um levantamento mundial sobre as terras degradadas e suas causas, realizado em 1994 pelo Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do solo (PNUD) apontou que cerca de 20 bilhões de hectares estão classificados como degradados devido às atividades humanas. O estudo ainda destaca os cinco principais fatores de degradação dos solos: o sobrepastejo da vegetação (34,5%); desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%); atividades agrícolas, por meio do manejo inadequado da irrigação, adubação e máquinas agrícolas (28,1%); exploração intensiva da vegetação para fins domésticos, como combustíveis, cercas etc., (6,8%); e atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%) (OLDEMAN, 1994).

A economia agrícola nas regiões semiáridas do planeta está fortemente sustentada na exploração dos recursos naturais como o extrativismo vegetal, o sobrepastejo em áreas com pastagens nativas e a exploração agrícola sem qualquer tipo de prática conservacionista (SCHENKEL; MATALLO JUNIOR, 1999) que são os principais fatores que promovem a degradação dos solos.

Diante deste quadro o processo de desertificação no município de Irauçuba vem sendo apontado desde a década 1970 (VASCONCELOS SOBRINHO, 1974) como um dos mais graves núcleos de desertificação do Nordeste, sendo confirmado por outros autores, através da utilização de diferentes metodologias como (FERREIRA *et al.* 1997; IPLANCE, 1984 *apud* SALES, 2003; DIAS, 1998; RODRIGUES *et al.* 1992). Além desses, um grupo de pesquisadores veem estudando o efeito do pousio sobre a recuperação desse ambiente como os estudos de Pessoa (2008); Sales (2003); Sales e Oliveira (2006); Sousa (2009).

O objetivo geral dessa dissertação é avaliar o impacto hidrossedimentológico da prática de pousio[1] em uma encosta degradada em ambiente semiárido. Como forma a responder as duas hipóteses levantadas nesse trabalho. A primeira hipótese é de que a área que está submetida ao pousio gerará menos escoamento superficial e menos perda de solo em relação à área usada atualmente como pastagem para os animais. A segunda hipótese é de que a técnica de pousio é adequada para a recuperação de áreas degradadas de ambientes semiáridos.

Para responder a essas duas hipóteses o estudo foi realizado por meio da comparação das variáveis hidrosedimentológicas de duas encostas vizinhas e

[1] Estado do solo em que este não é cultivado durante determinado período. Sobre o solo não é efetuada nenhuma operação agrícola, com intenção de permitir a recuperação natural de sua produtividade. (CURI, *et al.* 1993)

morfologicamente semelhantes, sendo uma degradada e outra em recuperação há dez anos através da técnica de pousio.

Como objetivo específico tem-se:

– Comparar analiticamente variáveis hidrológicas em duas encostas - uma degradada e um em recuperação - através do escoamento superficial, tais como coeficiente de escoamento superficial, potência de corrente e número de curva; e

– Comparar analiticamente variáveis sedimentológicas nas duas encostas através da produção de sedimentos, tais como erodibilidade do solo, erosividade da chuva, produção de sedimentos, concentração de sedimentos e fatores adimensionais do modelo EUPS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica pode ser conceituada como uma área definida topograficamente, pelos seus divisores de água, drenada por um curso d'água ou um sistema de cursos d'água, tal que toda vazão efluente seja descarregada por uma saída simples (EMBRAPA, 2008; MARTINS; PAIVA, 2001; VILLELA; MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica por ser a principal unidade do estudo hidrológico. Ela permite o maior entendimento da dinâmica do ambiente por meio do conhecimento de variáveis hidrológicas como precipitação, vazão e evapotranspiração, pois estes dados dão suporte à calibração e à validação de modelos hidrológicos (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; EMBRAPA, 2008; MARTINS; PAIVA, 2001; RIGHETTO, 1998). No Brasil a Política Nacional de Recursos Hídricos, regida pela Lei 9.433/1987, regulamenta em seu artigo 21, inciso XIX da Constituição Federal, estabelece no seu artigo 1º, inciso V: "*A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*".

O ciclo hidrológico sobre a superfície terrestre é bastante influenciado pelas características fisiográficas de uma bacia hidrográfica. As principais características são: a área de drenagem; a forma da bacia; o sistema de drenagem; e as características de relevo (VILLELA; MATTOS, 1975). Analisando o perfil topográfico de uma bacia hidrográfica observam-se três componentes principais: os interflúvios; as vertentes; e o leito fluvial. Os interflúvios são as regiões mais elevadas da bacia, servindo de divisor entre uma bacia e outra. As vertentes ou encostas é qualquer superfície que possua uma inclinação suficiente para haver escoamento da água. O leito fluvial ou fundo do vale é denominado como sendo o canal de escoamento de um rio.

A encosta objeto desse estudo é considerada a parte da bacia, responsável por estabelecer uma conexão dinâmica entre os topos dos interflúvios e o fundo do vale e por comportarem geralmente, a maior parte da vegetação. As encostas são as principais produtoras e transportadoras de sedimento para o leito fluvial. A inclinação de suas vertentes é fundamental na densidade da rede de drenagem de uma bacia. Encostas muito inclinada e

sem a presença de vegetação, resulta no aumento do escoamento superficial com maior velocidade, tornando-se desastrosa a perda de solo. Os sedimentos carreados em direção ao fundo do vale, provocam além de outros problemas, o assoreamento dos rios e dos reservatórios, tornando-os mais raso e com menor capacidade de armazenamento de água (CARVALHO, 2008).

2.2 Hidrologia

Villela e Mattos (1975) definem hidrologia como sendo "*a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida*". Para a hidrologia é imprescindível o conhecimento do ciclo hidrológico, pois é através dele que se pode conhecer melhor as quatro fases básicas de interesse do engenheiro que são: a precipitação, a evapotranspiração, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo.

Um dos temas de maior interesse para a hidrologia é o que trata da relação chuva-deflúvio, principal processo responsável pela erosão que, por sua vez é o maior agente modificador da crosta terrestre, constituindo um processo quando natural (erosão geológica) benéfico à formação do solo. Por sua vez, a relação entre a precipitação e o escoamento superficial sofre influência de diversos fatores como o clima, a cobertura vegetal, o tipo de solo e das características de relevo (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; TUCCI, 1993).

Araújo e Piedra (2009) ao compararem as respostas hidrológicas entre duas bacias tropicais, uma semiárida e outra subúmida, com precipitação da primeira duas vezes inferior a segunda, verificaram que a primeira apresentou uma vazão específica ($L.s^{-1}.km^2$) cerca de trinta vezes menor que a bacia subúmida, sob as mesmas condições de cobertura. Outros estudos buscam compreender as relações entre o escoamento gerado por uma precipitação específica com a cobertura vegetal (FREITAS *et al.* 2008; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; PANACHUKI *et al.* 2006; WEI *et al.* 2007; TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2010) com o tipo de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO 1990; PREVIATI *et al.* 2010; ROMERO-DIAZ; BELMONTE-SERRATO; RUIZ-SINOGA, 2010) e com a declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO 1990; COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003; INÁCIO *et al.* 2007).

A hidrologia de encostas é uma combinação dos processos de fluxo de superfície e de fluxo de subsuperfície rasa. O fluxo de superfície inclui o escoamento superficial pelo excesso da infiltração (quando a intensidade da precipitação excede a capacidade do solo absorver água) e o escoamento superficial por saturação. Este processo é a combinação do fluxo de retorno (fluxo de subsuperfície que retorna para a curva descendente da superfície por causa da saturação) com a chuva direta sobre as áreas de saturação de subsuperfície. O processo de fluxo de subsuperfície rasa ocorre quando o fluxo viaja inteiramente através do subsolo, geralmente ao longo da interface de um horizonte do solo menos permeável. Para uma dada encosta, o processo de escoamento dominante é, portanto, regulado pela capacidade de infiltração, que distribui chuva entre os sistemas hidrológicos de superfície e de subsuperfície (KIRKBY, 1978).

2.3 Hidrologia no semiárido

Molle e Cadier (1992) dividem de forma simplificada o regime climático do Nordeste em três grandes zonas. A primeira é o Sertão Norte, caracterizado por apenas um período chuvoso de três meses (fevereiro – abril); a segunda é o Sertão Sul, caracterizado por dois períodos chuvosos: um em março-julho e outro em novembro-dezembro. Nestas duas zonas (Norte e Sul) as chuvas geralmente se apresentam de forma intensa e de curta duração, com regimes altamente irregulares tanto no espaço, quanto no tempo. A terceira zona é a de Transição, situada entre a zona litoral atlântica leste e o Sertão, na qual algumas precipitações são semelhantes às do Sertão e outras, geralmente, de duração maior e intensidade menor e ocorrem entre os meses abril e agosto.

Quanto ao balanço hídrico, o semiárido brasileiro se caracteriza pelo déficit hídrico na maioria dos meses do ano, devido às altas taxas de evapotranspiração potencial. Como a geologia do semiárido brasileiro é majoritariamente cristalina, pouco permeável e sem presença de aquífero significativo, tem como principal fonte de armazenamento de água os reservatórios. Os reservatórios por sua vez, têm como principal fonte de abastecimento o escoamento superficial. As zonas sedimentares são formadas pelas chapadas e regiões sedimentares, onde geralmente existem aquíferos extensos e de grande potencial (MOLLE; CADIER, 1992).

A hidrologia no semiárido vem sendo estudada já há algum tempo, por algumas instituições e pesquisadores, por meio da instalação de bacias hidrográficas experimentais como a Bacia Experimental de Sumé na Paraíba, de clima semiárido com precipitação média de 590 mm e evapotranspiração média anual de 2900 mm, onde o solo predominante é Luvissolo Hipocrômico Órtico vértico, A fraco, textura argilosa fase Caatinga hiperxerófila, com declividade variando de 4 a 9%. Os estudos foram realizados em escala de bacias hidrográficas de 137, 10 e 27 km² em microbacias de até 1 ha como também em parcelas de 100 e 1 m² com chuva natural e simulada (ALBUQUERQUE; LOMBARDI NETO; SRINIVASAN, 2001; ALBUQUERQUE *et al.* 2002 e 2005; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003).

No Ceará há quatro microbacias experimentais em Iguatu, com áreas inferiores a três hectares, possuem precipitação média anual de 800 mm com evapotranspiração média anual de 2100 mm. O solo é um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico, com relevo suavemente plano. A vegetação nativa é a Caatinga arbustiva densa, que sofreu diferentes tratamentos para os estudos hidrológicos. Entre os trabalhos realizados podemos citar Lobato *et al.* (2009), Santos (2009) e Rodrigues (2009). Já Bacia Experimental de Aiuaba foi instalada na estação ecológica de Aiuaba, estabelecida em 1978, estando associada à manutenção da biodiversidade florística e faunística do bioma Caatinga. A bacia experimental é de 12 km² composta por três tipos de solo: Luvissolos, Planossolos Haplico e Argissolos. O relevo é ondulado com declividade média de 19%, com pluviometria média anual 570 mm e evapotranspiração média anual de 2000 mm. Entre os vários trabalhos realizados, pode-se citar o de Araújo (2007); Araújo (2009); Araújo e Piedra (2009); Costa (2007); Farias *et al.* (2007); Lima (2010); Lima Neto; Wiegand; Araújo (2011); Medeiros; Araújo; Bronstert (2010); Medeiros; Araújo; Mamede (2009); Wiegand; Lima; Medeiros *et al.* (2010).

Outras bacias experimentais instaladas no semiárido brasileiro foram as contempladas pelo projeto IBESA – Instalação de Bacias Experimentais no Semiárido, no qual, além da Bacia Experimental de Aiuaba, no Ceará, foram contempladas mais seis bacias distribuídas em quatros estados do Nordeste. Dentre as bacias estão a da Serra Negra do Norte, no estado do Rio Grande do Norte, a Bacia do Rio Guaraíra e a Bacia de São João do Cariri no estado da Paraíba, a bacia do Riacho Gameleira e a Bacia do Riacho Jatobá no estado de Pernambuco e a Bacia do Rio do Cedro no estado da Bahia. Dados sobre essas bacias podem ser encontrados em IBESA (2004).

2.4 Degradação do solo

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1989), por meio da NBR 10703, a degradação do solo pode ser entendida como "*alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais*", ou simplesmente, o declínio da qualidade do solo, devido ao uso incorreto feito pelo homem. Entre os processos antropogênicos de degradação do solo tem-se a compactação, a erosão acelerada, a salinização, a lixiviação e a acidificação. Sendo a erosão acelerada a forma mais grave da degradação das terras em todo o mundo (MORRIS; FAN, 1998; PRUSKI, 2009; EMBRAPA, 2008). De forma geral, a erosão tem como definição o processo de desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo por um agente erosivo. Já a EMBRAPA (2008) a define como o processo de desgaste e consequente modificação da superfície da terra, sendo influenciado pela água, o vento, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solo. Para Carvalho (2008) *"Erosão é o fenômeno do desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes, como o vento*", o mesmo autor aborda a deposição no processo de sedimentação, que abrange a erosão (destacamento das partículas) o transporte e a deposição do sedimento.

Alguns autores divergem ou adotam nomenclaturas diferentes para classificar os tipos, as formas e os agentes do processo erosivo. Carvalho (2008) define bem essa classificação, enquadrando aos tipos de erosão em: salina ou mineral, eólica, fluvial, hídrica superficial, remoção em massa, antropogênica ou causada por animais e de eventos extremos. Quanto à forma de atuação em: erosão geológica, responsável pelo processo natural de formação dos solos; e erosão acelerada como aquela provocada pela ação humana ou por catástrofes naturais, causando prejuízos ambientais e econômicos. Quanto aos agentes atuantes no processo erosivo, em: agentes passivos (água, temperatura, insolação, vento, gelo, neve e ação de microrganismos, animais e humana) e agentes ativos (topografia, gravidade, tipo de solo, cobertura vegetal, formações superficiais e práticas antrópicas). Segundo Pruski (2009) e Carvalho (2008) de todos os tipos de erosão no Brasil a de maior importância é a erosão hídrica.

Nas regiões semiáridas, áridas e subúmidas secas, a degradação causada pela erosão associada a outros processos pode transformar uma região em deserto. Esse processo

foi denominado de desertificação (SAMPAIO *et al.* 2003). Os mesmos autores ainda afirmaram que este processo progride em cinco fases: i) a retirada da cobertura vegetal; ii) a degradação do solo; iii) perda da produtividade agropecuária; iv) redução da renda familiar; v) redução da qualidade de vida da população da área afetada. Sendo que a desertificação só se estabelece por completo quando todas as fases se apresentam e a interligação entre as mesmas reforça o efeito de cada uma.

Os sistemas de produção agrícola, comumente em prática pela agropecuária tradicional no semiárido nordestino, caracterizaram-se, desde seus primórdios coloniais, por um extrativismo predatório dos recursos naturais do solo e da vegetação. Ao se praticar uma agricultura dita nômade ou migratória, dessa forma para que se possa ter características de sustentabilidade, é necessário que se respeite o período mínimo de repouso para recuperação do solo e da vegetação nas áreas utilizadas.

No caso da Caatinga, estima-se que o período mínimo de pousio é aproximadamente 45 anos, com sequência sucessional de três anos para a dominância das herbáceas, 19 anos para os arbustos, mais 15 anos para um complexo arbustivo-arbóreo, quando então se verifica a supremacia das árvores a qual se completa após cerca de 10 anos. Estima-se que esses valores possam variar bastante em função de fatores locais, como as flutuações climáticas e a exaustão do banco natural de sementes, principalmente das arbóreas (PESSOA, 2008). Porém, em extensas áreas do sertão cearense, o período de repouso está abaixo de 10 anos (período de dominância dos arbustos), não havendo tempo suficiente para a recuperação do solo e da vegetação. A redução no tempo de pousio promove a maior exposição do solo à erosão, a perda da biodiversidade florística e faunística e consequente queda dos índices de produção agrícola (CEARÁ, 2010).

2.5 Desertificação

O fenômeno “desertificação” passou a ser estudado pela comunidade científica a partir da década de 30, em função de uma tempestade de areia que ocorreu no Meio-Oeste Norte Americano, que ficou conhecido como *Dust Bowl*. Mas só foi incorporado integralmente na sociedade após os impactos sociais, econômicos e ambientais causados pela prolongada estiagem que passou a região de Sahel na África Sub-Saariana entre os anos de

1965 e 1973. Esse evento resultou na Conferência de Nairóbi, no Quênia, em 1977 e do Rio de janeiro em 1992. Na qual se formulou o Plano Mundial de Ação contra a Desertificação, a Agenda 21 e a Convenção sobre Desertificação (MATALLO JUNIOR, 1999, 2003).

Segundo a Convenção sobre desertificação, está é entendida como "*a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas*" (UNITED NATIONS, 1997). Sendo entendida por degradação da terra a degradação dos solos e recursos hídricos; a degradação da vegetação e da biodiversidade; e a redução da qualidade de vida da população afetada.

Para o enquadramento das regiões como áridas, semiáridas e subúmidas secas, foi entendido que estas devem ser definidas conforme o Índice de Aridez (IA), que depende da razão entre a quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração (ETP), ou evapotranspiração potencial, cujos índices de classificação estão apresentados na Tabela 1. Para cálculo do IA foi utilizado o método de Thornthwaite para obtenção da ETP (MATALLO JUNIOR, 1999, 2003).

Tabela 1 – Valores do índice de aridez para os vários climas do planeta

Clima	Índice
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 – 0,20
Semiárido	0,21 – 0,50
Subúmido Seco	0,51 – 0,65
Subúmido e Úmido	>0,65

Fonte: Matallo Junior (1999, 2003).

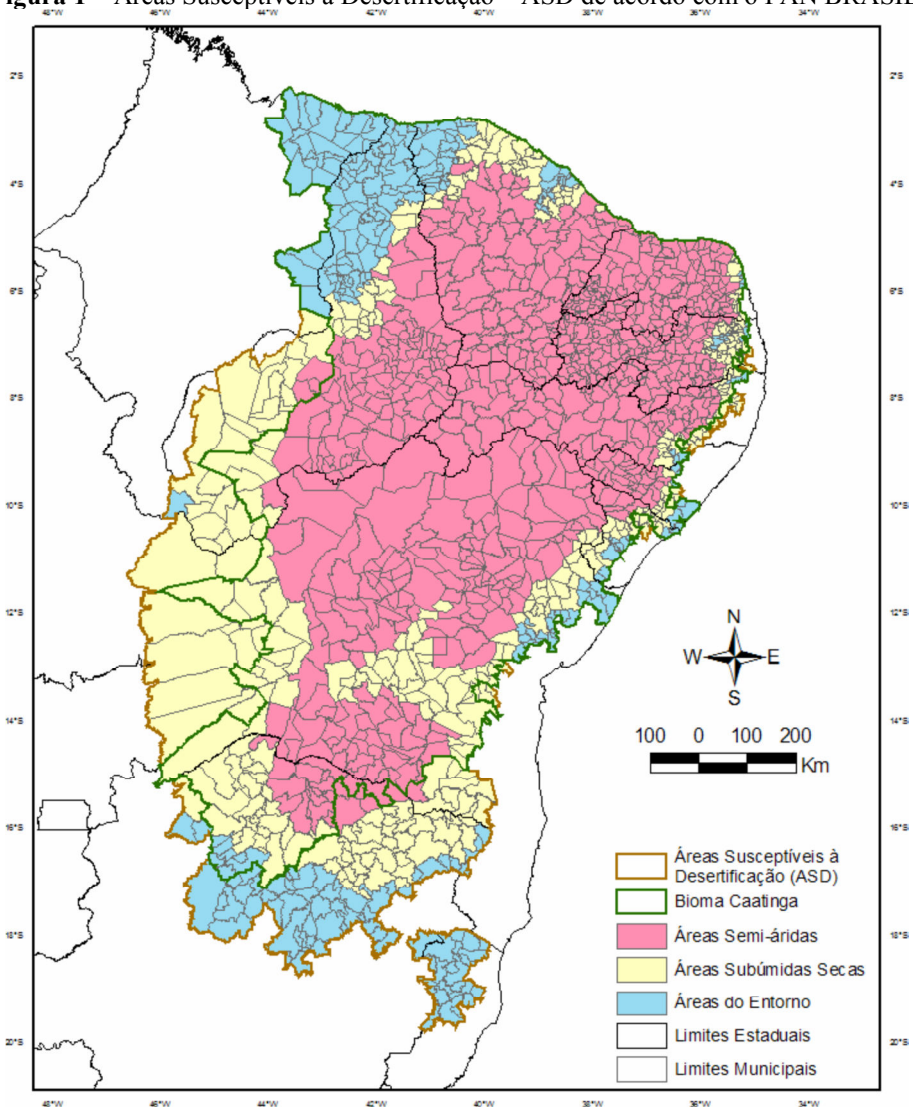
Portanto, segundo a definição da desertificação, 33 % da superfície emersa, composta pelas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, cujos índices de aridez variam de 0,05 – 0,65 estão sujeitas ao processo de desertificação. Na América do Sul 29% da área está sob o risco de desertificação (MATALLO JUNIOR, 1999, 2003).

No Brasil o principal documento que trata sobre o tema é o Programa de Ação Nacional do Brasil (PAN-BRASIL) definido segundo as orientações da Conferência de Combate à Desertificação – CCD, que tem como um dos quatro eixos temáticos a conservação, preservação e manejo sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2004). Somente em 2010 foi elaborado, no Ceará, um documento com as estratégias e diretrizes a serem adotadas no estado para combater a desertificação o Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE) (CEARÁ, 2010). O

município de Irauçuba foi o primeiro a elaborar uma Política municipal de combate e prevenção à desertificação e mitigação dos efeitos da seca por meio da lei que destina um Fundo Municipal de Combate à Desertificação (IRAUÇUBA, 2009).

No PAN-BRASIL, a extensão nacional das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) corresponde a 1.338.076 km² (15,7%) do território nacional. Abrangendo 11 estados brasileiros, os estados do Nordeste, mais o Estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Compreendem 1.482 municípios, atingindo mais de 18% da população brasileira. Essa região tem densidade demográfica de 23,66 hab km^{-2} (BRASIL, 2004). São considerados Núcleos de Desertificação no Brasil quatro regiões: Gilbués – PI; Irauçuba – CE; Seridó - RN e Cabrobó – PE. A Figura 1 mostra os limites das ASDs, que envolve todo o bioma Caatinga e região semiárida definidos de acordo com seu Índice de Aridez e cobertura vegetal.

Figura 1 – Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD de acordo com o PAN BRASIL.



Fonte: BRASIL (2004)

No Ceará, as áreas mais susceptíveis à desertificação (ASDs), de acordo com PAE – CE estão classificados em três núcleos de desertificação: Núcleo I - Sertões de Irauçuba e Centro-Norte compreendendo uma área de 9.706 km² abrangendo os municípios de Irauçuba (objeto deste estudo), Santa Quitéria, Miraíma e Canindé; Núcleo II - Sertões dos Inhamuns, que compreende uma área de 8.303 km² abrangendo os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e Núcleo III - nos Sertões do Médio Jaguaribe, que compreende uma área de 8.422 km² abrangendo os municípios de Jaguaretama, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova. Todos os Núcleos exibem praticamente as mesmas características geoambientais entre as mais notórias se destacam: a predominância do embasamento cristalino, o clima semiárido e/ou subúmido seco, a acentuada irregularidade espaço-temporal das chuvas, a altas taxas de evapotranspiração, a baixíssima capacidade de retenção de água pelos solos e formações superficiais, uma rede hidrográfica muito ramificada de escoamento intermitente, sazonal ou esporádico, além da Caatinga como cobertura vegetal predominantemente (CEARÁ, 2010).

Muitos trabalhos sobre desertificação em regiões semiáridas indicam o sobrepastejo como sendo a principal causa desse processo, devido à degradação da cobertura vegetal e perda acelerada da profundidade do solo (CASTELLANO; VALONE, 2006; LI *et al.* 2000; LI; JIA; DONG, 2006; MANZANO; NÁVAR, 2000; MUNIZ; OLIVEIRA, 2010; SALES, 2003; SLIMANI; AIDOUD; ROZE, 2010; SU *et al.* 2004; VALONE; SAUTER, 2005; YONG-ZHONG *et al.* 2005).

2.6 Precipitação

Dos fatores climáticos tais como vento, umidade, temperatura e precipitação, o que tem maior influência no processo erosivo é a precipitação (SIMÕES; COIADO, 2001). A precipitação inclui a chuva, a neve e outros processos mediante os quais a água cai sobre a superfície terrestre, como o granizo, a geada e a chuva. Para a formação da precipitação é requerido que uma massa de água se eleve até a atmosfera e se esfrie e que parte de sua umidade se condense (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988). A precipitação também pode ser entendida como a queda de água no estado líquido (chuva) ou sólido (neve e granizo) resultante da condensação do vapor de água que existe na atmosfera. Segundo Villela e Mattos (1975) precipitação compreende todas as formas de umidade atmosféricas depositadas

sobre a superfície da terra, como chuva, granizo, orvalho, neve e geada. Os três principais mecanismos de formação das precipitações são: elevação frontal, elevação orográfica e elevação convectiva (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; VILLELA; MATTOS, 1975).

As precipitações frontais são geradas a partir do movimento de massa de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, ou seja, o encontro de massas de ar quente e ar frio. Este tipo de precipitação caracteriza-se por ser de longa duração, apresentando intensidade baixa a moderada, recobrindo grandes áreas. As precipitações orográficas resultam da elevação de uma massa de ar úmido sobre uma barreira natural, como serras e montanhas. A precipitação convectiva, comuns em regiões tropicais ocorre pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, formando várias camadas de ar com diferente densidade com equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local de ar menos denso que quando este atinge grandes altitudes formam nuvens e muitas vezes precipitações. As precipitações, na maioria das vezes são de grande intensidade e curta duração, concentradas em pequenas áreas (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; VILLELA; MATTOS, 1975; TUCCI, 1993).

A precipitação varia no espaço e no tempo de acordo com o padrão geral da circulação atmosférica e com alguns fatores locais (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; VILLELA; MATTOS, 1975). Sendo a média de uma variabilidade climática obtida ao longo de alguns anos de observação, conhecida como sendo seu valor normal (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

As grandezas características das medidas pluviométricas são: altura pluviométrica definida como a quantidade de chuva (H), medida pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável (mm); a intensidade de precipitação que é a relação entre a altura pluviométrica e sua duração (mm h^{-1} ou mm min^{-1}); e a duração, definida pelo período ou tempo contado desde o início até o fim da precipitação (h ou min) (VILLELA; MATTOS, 1975).

Para caracterizar um evento de chuva individual e erosiva, Wischmeier (1959) considerou que a chuva individual seria aquela separada da anterior e da posterior por um período mínimo de 6 h sem chuva ou com menos de 1,0 mm no intervalo. Como chuva erosiva, será considerada toda aquela com quantidade igual ou superior a 10,0 mm ou com 6,0 mm ou mais, desde que tenha ocorrido em período de 15 minutos ou menos. Segundo Mazurana *et al.* (2009) as chuvas ocorridas nas condições brasileiras atendem a esses critérios.

A distribuição do volume precipitado vem sendo estudada não apenas pelo seu comportamento espaço-temporal, mas também pela forma como a mesma é distribuída sobre a superfície do solo, a partir da qual são gerados três processos, a interceptação, a infiltração e o escoamento superficial. A maioria dos estudos está concentrada no entendimento do comportamento da precipitação quando esta se processa em sua plenitude, ou seja, com ocorrência dos três processos (interceptação, infiltração e escoamento superficial). Os dois processos mais estudados são a infiltração e o deflúvio, pois a maior parcela da precipitação se distribuiu entre eles, além dos mesmos serem os principais fatores atuantes na modelagem da superfície da terra.

A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo (TUCCI, 1993). Ela geralmente ocorre devido à vegetação ou a outra forma de obstrução à infiltração ou escoamento, sendo que a parte retida é perdida pela evaporação retornando para a atmosfera. Este processo interfere no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica influenciando na redução da variação de vazão ao longo do ano, bem como reduzindo os picos de cheias, devido ao armazenamento de parte da precipitação para evaporação, antes de passar pelos outros dois processos (TUCCI, 1993). Medeiros; Araújo; Bronstert (2009) compararam as perdas por interceptação em diferentes regiões e simulou as perdas por interceptação numa região Caatinga nativa do semiárido brasileiro. Os autores *op cit.* observaram que as perdas por interceptação corresponderam há 13%, enquanto o escoamento superficial correspondeu somente há 6%.

A infiltração no solo, que é a passagem da água da superfície para o interior do solo, depende principalmente da disponibilidade de água, da natureza do solo, do estado da superfície do solo e de sua umidade antecedente (TUCCI, 1993). Através da infiltração ocorre o reabastecimento de água no solo, principal fonte de água para as plantas, sendo ela essencial no processo de respiração, fotossíntese e transporte de nutrientes. A infiltração também é um dos fatores condicionante, na geração do escoamento superficial. Os fatores que influenciam a taxa de infiltração da água também são os mesmos que atuam sobre o processo de escoamento superficial, resultante. Entre os inúmeros fatores que interferem nestes processos, Pruski; Brandão; Silva (2004) classificaram em dois grupos: agroclimáticos e fisiográficos. Os fatores agroclimáticos englobam o regime pluviométrico, a cobertura vegetal e a evapotranspiração. Os fatores fisiográficos envolvem as características físicas da área como tamanho, forma e declividade, bem como as condições de superfície como o tipo de solo, topografia, rede de drenagem e as obras hidráulicas.

O escoamento superficial é o principal processo da erosão hídrica, corresponde ao deslocamento da água sobre uma superfície do solo. O conhecimento desse processo é fundamental para desenvolvimento de projetos e obras de engenharia, na identificação das disponibilidades e potencialidades hídricas da bacia hidrográfica (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004; ALENCAR; SILVA; OLIVEIRA, 2006). O escoamento superficial além de ser responsável pelo transporte do sedimento produzido na bacia até o seu exutório, ele também desagrega parte das partículas do solo durante o seu percurso. O mesmo tem seu potencial erosivo intensificado à medida que se reduz a cobertura vegetal, aumenta a declividade e o comprimento de rampa.

Entre os principais mecanismos de escoamento que podem ocorrer nas bacias hidrográficas, tem-se: o escoamento superficial hortoniano, o escoamento subsuperficial, o escoamento de água subterrânea (ou escoamento de base), o escoamento superficial por saturação subsuperficial e a precipitação direta no canal. Cada processo assume maior importância em uma dada área a depender das condições do clima, da geologia, da topografia, das características do solo, da vegetação e do uso do solo (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988). Segundo Pruski; Brandão; Silva (2004), os principais fatores que influenciam no escoamento superficial são dos tipos agroclimáticos (intensidade e duração da chuva, cobertura e uso do solo e evapotranspiração) e fisiográficos (área e declividade da bacia, tipo de solo, topografia, rede de drenagem e obras hidráulicas). Para as regiões semiáridas, os principais fatores que condicionam o escoamento e a infiltração são a vegetação e a espessura da primeira camada de solo (MOLLE; CADIER, 1992).

O escoamento hortoniano ocorre quando a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, sendo este processo comum para superfícies impermeáveis em áreas urbanas e em superfícies naturais com finas camadas de solo e com baixa capacidade de infiltração, como ocorre em regiões áridas e semiáridas (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

O escoamento subsuperficial é geralmente desprezado devido à velocidade de fluxo ser baixa, não podendo contribuir de forma significativa como fluxo gerado pela precipitação, exceto em circunstâncias em que o solo possui alta condutividade hidráulica (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

A água que atinge o lençol freático é drenada pelo escoamento de base que ocorre sob a linha do lençol freático, nas camadas mais profundas do solo (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988). Este é principal mecanismo responsável pela perenizarão de um rio. Nas

regiões semiáridas este padrão de escoamento pode ser verificado na maioria das vezes nos rios somente no período chuvoso.

No escoamento por saturação subsuperficial, ocorre preferencialmente em solos rasos ou que possuem logo abaixo da superfície uma camada de impedimento à infiltração ou senão causado por evento de longa duração e/ou eventos consecutivos. Diferente do escoamento hortoniano nesse tipo de escoamento o solo nas camadas inferiores se satura atingindo as camadas superiores e começa escoar (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Devido à grande importância desse processo, principalmente nas regiões semiáridas é que diversos estudos vêm sendo conduzidos, a fim de entender as respostas do escoamento superficial diante dos diferentes tipos, usos e manejos do solo, como no Brasil (BRITO *et al.* 2008; ALBUQUERQUE *et al.* 2002), na Espanha (CANTÓN, *et al.* 2001; NICOLAU *et al.* 1996; ROMERO-DIAZ; BELMONTE-SERRATO; RUIZ-SINOGA, 2010), na Mongólia (ONDA *et al.* 2007) e na China (WEI *et al.* 2007).

2.7 Erosão hídrica

Simões e Coiado (2001) definem a erosão hídrica como sendo "*... constituindo na desagregação e remoção do solo, fragmentos e partículas de rochas pela ação da água precipitada e seu escoamento*". A erosão hídrica compreende três subprocessos, a desagregação das partículas do solo pelo realizada pelo impacto das gotas de chuva, destacamento das partículas pela tensão de atrito do deflúvio superficial e o transporte partículas pelo fluxo superficial que ocorre nas áreas de contribuição (RIGHETTO, 1998). Os processos físicos que atuam na erosão hídrica são: as forças de coesão que atuam entre as moléculas de água e do solo; o processo de infiltração de água no solo; o selamento superficial; o armazenamento superficial; o escoamento superficial e o desprendimento e transporte das partículas do solo (PRUSKI, 2009).

Entre os tipos de erosão hídrica destaca-se a erosão laminar e a erosão em sulco. A erosão laminar ou entre sulcos (em inglês *Interrill erosion*) é o desprendimento e transporte das partículas do solo devido ao salpicamento causado pelo impacto das gotas de chuva e ao fluxo superficial pré-sulco. A erosão em sulcos (em inglês *rill erosion*) é o desprendimento e transporte de partículas do solo pelo fluxo concentrado em pequenos canais ou sulcos, não

mais do que poucos centímetros de profundidade, podendo estes serem eliminados por técnicas simples de cultivo (MORRIS; FAN, 1998; HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

O índice que expressa a capacidade da chuva causar erosão numa área desprotegida é a erosividade. Para a determinação da erosividade de uma chuva é necessário o conhecimento da sua energia cinética, da precipitação máxima em trinta minutos, da intensidade média e do volume total precipitado. Os dois modelos mais conhecidos para determinação da energia cinética é o proposto por Wischmeier e Smith (1958) e o outro por Brown e Foster (1987, *apud* HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

As forças erosivas que atuan sobre o solo são determinadas principalmente pela intensidade e duração das chuvas, pela declividade e comprimento do terreno e pela cobertura, que protege o solo contra o impacto direto das gotas (MORRIS; FAN, 1998). A susceptibilidade do solo à erosão é chamada erodibilidade e depende das características físicas, como tamanho das partículas, da natureza dos materiais orgânicos e inorgânicos que os unem.

Um dos modelos mais conhecidos em todo o mundo para a predição da erosão hídrica é a USLE (*Universal Soil Loss Equation*) ou EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) modelo empírico desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978) para estimar a perda média anual de solo. O modelo foi baseado a partir da observação de perda de solo em mais de 10.000 parcelas-padrão (3,5 m de largura, 22,1 m de comprimento e 9% de declividade) distribuídas em todas as regiões dos Estados Unidos. Essa equação posteriormente foi modificada por Williams (1975 *apud* AVANZI *et al.* 2008) e revisada por Renard *et al.*(1997), sendo denominada de MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) e RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), respectivamente.

2.8 Equação universal de perda de solo – EUPS

Apesar da EUPS e suas variações (MUSLE e RUSLE) terem sido desenvolvidas nos Estados Unidos, elas vêm sendo utilizada em vários outros países, como no Iraque (HUSSEIN, 1996), na Índia (JHA; KAPAT, 2009), na Espanha (GARCÍA; ALCÁNTARA, 2011; GÓMEZ *et al.* 2003; GÓMEZ; FERERES, s/d), na China (FU *et al.* 2005), bem como no Brasil (ALBUQUERQUE *et al.* 2005; AMORIM *et al.* 2010; AVANZI *et al.* 2008;

SILVA, 2004). Todos esses trabalhos tiveram como principal objetivo determinar e/ou ajustar os parâmetros da EUPS as condições locais, através da comparação entre a perda de solo estimada pelo método com as registradas em campo. Outro fator que contribuiu para o uso da EUPS e suas variações é sua associação com as ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica), permitindo a sua aplicação em bacias hidrográficas (ARAÚJO, 2003; COHEN; SHEPHERD; WALSH, 2005; TERRANOVA *et al.* 2009). Por isso, a EUPS é a equação empírica mais utilizada para estimar a perda de solo, em virtude dos fatores que a representam, como: clima, solo, topografia e uso e manejo do solo, além da maior facilidade de determinação destes termos. A EUPS pode ser expressa da seguinte forma:

$$M_E = R\ K\ LS\ CP \qquad (1)$$

em que, M_E é a perda de solo média anual (Mg ha^{-1} ano^{-1}); R é o fator de erosividade da chuva (MJ mm ha^{-1} h^{-1}); K é o fator erodibilidade do solo (Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}); L é o fator de comprimento de encosta, adimensional; S é o fator de declividade de encosta, adimensional; C é o fator de uso e manejo do solo, adimensional; e P é o fator de práticas conservacionistas, adimensional.

Apesar de a EUPS ser uma equação de predição da erosão, ela possui como limitações a não contemplação do processo de deposição de sedimentos, não estimar a erosão em sulcos em fase avançada ou ravinas (PRUSKI, 2009; CARDOZO, 1998), além de não comtemplar a umidade antecedente no solo (AVANZI *et al.* 2008).

2.8.1 Erosividade das chuvas (R)

Os totais anuais precipitados em uma área têm pouca relevância no processo de erosão hídrica, sendo mais importante considerar as características da chuva como, distribuição do tamanho, a velocidade de queda, o número, o momento e a energia cinética das gotas, além da intensidade, duração e frequência da chuva (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

Erosividade de maneira geral é a capacidade potencial que uma chuva tem de causar erosão. Podendo ser definida como sendo o potencial da chuva em promover erosão pelo impacto das gotas, pela desagregação do solo, da turbulência do escoamento e o transporte das partículas do solo (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004; HAAN; BARFIELD;

HAYES, 1993). As principais características que atuam sobre a erosividade são a intensidade máxima em 30 minutos e a energia cinética total, sendo que do seu produto resultou a erosividade da chuva em MJ mm ha^{-1} h^{-1}, no qual esta relação explicou de 72 a 97% das perdas de solo causadas pela chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1958). Santos; Griebeler; Oliveira (2010) destacaram que as características das precipitações que mais interferem no processo de erosão do solo são a intensidade, a duração e a frequência da precipitação e a sua erosividade

Mas, diante da dificuldade da obtenção de registros pluviográficos em muitos países e regiões, inclusive no semiárido brasileiro, muitos pesquisadores vêm tentando determinar a erosividade da chuva numa região por meio de equações que utilizam como dados de entrada a precipitação mensal e anual (PRUSKI, 2009). Entre essas equações, a mais usada nas condições semiáridas brasileiras é a proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), aplicada nos trabalhos de Araújo (2003); Aquino; Oliveira; Sales (2006); Aquino *et al.* (2007); Serio *et al.* (2008); Lopes *et al.* (2009) e Muniz e Oliveira (2010).

2.8.2 Erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade é entendida como a susceptibilidade de um solo ter suas partículas desagregadas ou transportadas pela chuva por meio do impacto das gotas ou pelo escoamento superficial, respectivamente. A importância da identificação da propriedade K prende-se à verificação de que diferentes solos sob mesmas condições de chuvas, relevo e manejo apresentam diferentes perdas de solo, exigindo, portanto práticas de manejo e conservação variáveis em função das propriedades de cada solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

A erodibilidade do solo pode ser obtida por meio de métodos diretos e indiretos. O método direto requer muito custo e tempo para sua determinação quando comparado com os métodos de determinação indireta (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Alguns trabalhos no Brasil, principalmente na região sudeste (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; MARTINS, 2005) têm sido realizados na tentativa de determinar o fator K para os diferentes tipos de solo. No semiárido brasileiro poucos são os trabalhos para determinação da erodibilidade dos seus diferentes tipos de solos, destacando-se as pesquisas realizadas por Silva (1994) no estado do Ceará e Albuquerque *et al.* (2005) na Paraíba.

O método de determinação indireta da erodibilidade do solo mais utilizado é o nomograma de Wischemeier e Smith (1978), cujo uso em regiões tropicais foi desaconselhado por Lo *et al.* (1985 *apud* PRUSKI, 2009), pois este geralmente superestima os valores de K nestas condições. Mesmo assim, o nomograma vem sendo adotado para determinar a erodibilidade em muitos trabalhos em regiões tropicais (AMORIN *et al.* 2010; ARAÚJO, 2003; COHEN; SHEPHERD; WALSH, 2005; SILVA, 1994; WIEGAND; LIMA; ARAÚJO, 2009). Outro método indireto para determinação da erodibilidade do solo é apresentado por Romkens *et al.* (1997) que, segundo Silva (1994), mostrou ser um método válido para predizer a erodibilidade de alguns tipos de solo do estado do Ceará.

2.8.3 Fator topográfico (LS)

A intensidade da erosão hídrica é tanto afetada pelo comprimento de rampa (L), como pela declividade do terreno (S). Já que o tamanho e a quantidade de sedimento arrastado pela água são dependentes da velocidade de escoamento, que por sua vez depende dos fatores L e S (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). O fator LS representa a relação entre a perda de solo em uma área com declive e comprimento quaisquer com as perdas na parcela padrão (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Algumas equações foram desenvolvidas a partir de dados de campo para estabelecer uma relação entre a perda de solo com o comprimento e a declividade do terreno, como a proposta por Wischmeier e Smith (1978), Bertoni e Lombardi Neto (1990) e Foster *et al.* (1981). Uma das limitações das equações dos autores supracitados é a consideração em suas fórmulas dos declives essencialmente uniformes, o que pode levar a uma superestimava da perda de solo quando em declives côncavos e subestimativa da perda de solo quando de declives convexos (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

2.8.4 Fator uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas (CP)

Na EUPS o fator C representa o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo do solo, oferecendo uma proteção gradual ao solo de acordo

com seu desenvolvimento vegetativo. Para fins práticos, o ano agrícola é dividido em cinco períodos ou estágios culturais, definidos de tal modo que os efeitos da cobertura sejam praticamente uniformes dentro de cada período (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004). O fator C é determinado pela razão entre taxa de perda de solo durante determinado estágio de desenvolvimento da cultura e a perda de solo obtida na parcela padrão (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004). No semiárido brasileiro destaca-se o trabalho de Albuquerque *et al.* (2005), que determinaram o fator C e P em parcelas experimentais com Caatinga nativa, Caatinga nova (pousio), área com cobertura morta, palma cultivada morro abaixo, palma cultivada em nível e solo descoberto, num período de sete anos em Sumé - PB.

O fator P que trata sobre a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com tais práticas conservacionistas e aquelas em que a cultura está plantada no sentido morro abaixo, foi definida como sendo igual à unidade, já que em ambas as encostas nenhuma técnica conservacionista (curva de nível, cordões de pedra, etc.) foi adotada.

2.9 Razão de aporte de sedimento (SDR)

A razão de aporte de sedimento é definida como a razão entre a massa de sedimento que deixa uma bacia e a massa de sedimento localmente erodida (KHANBILVARDI; ROGOWSKI, 1984). A SDR em uma bacia hidrográfica é influenciada por um conjunto de fatores geomorfológicos e ambientais como natureza, extensão e localização do sedimento, pelas condições de uso do solo, pelo clima, pelo fluxo local do ambiente e, em geral, pela sua fisiografia (VESTENA, 2008). Geralmente, com o aumento no tamanho da área de drenagem, a SDR decresce (HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

Os modelos para estimar a razão de aporte de sedimento são muitos. Alguns se fundamentam em dados observados (estatísticos ou empíricos) e outros em processos hidrológicos e sedimentológicos (paramétricos, distribuídos ou fisicamente baseados). Um levantamento sobre os vários modelos, métodos e equações é apresentado no trabalho de Vestena (2008). Araújo (2007) formulou uma equação derivada a partir do princípio da entropia máxima, que considera tanto a capacidade máxima de transporte de sedimentos

quanto a potência de corrente, sendo um dos únicos modelos a estimar o SDR por evento, tanto para áreas que sejam ou não bacias hidrográficas.

A grande diversidade de equações propostas para estimar a SDR deve-se a alta variabilidade temporal e espacial, uma vez que as especificidades locais da bacia hidrográfica, como diversidade topográfica, uso da terra e condições de uso do solo, entre outras, acabam por influenciá-la. Dessa forma, devem ser evitados os métodos que se utilizam apenas de parâmetros da fisiografia da bacia, podendo apresentar erros significativos, por não considerarem as especificidades de cada bacia hidrográfica (VESTENA, 2008).

Alguns trabalhos foram realizados utilizando a SDR determinada através dos modelos e equações de base física ou empírica para bacias hidrográficas do semiárido nordestino, como forma de comparar os seus resultados com os valores obtidos, como Araújo (2003); Farias *et al.* (2007); Wiegand; Lima; Araújo (2009) e Lima (2010) em todos eles a maioria dos métodos apresentaram erros significativos da produção de sedimento que deixa a bacia hidrográfica.

2.10 Método SCS

Foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (1972), atualmente *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) nos Estados Unidos, que tem por propósito calcular as abstrações de um evento de precipitação. Para uma chuva como um todo, o escoamento direto (P_e) gerado pelo excesso de chuva é sempre menor ou igual a precipitação total (P). Para esclarecer as bases do método SCS, foi realizada uma revisão sobre os processos de geração do escoamento superficial. O escoamento superficial é gerado por uma variedade de processos de fluxo superficial e próximo à superfície do solo, no trabalho de Ponce e Hawkins (1996) os autores destacam e comentam sobre os principais processos envolvidos.

O método SCS, apesar de ter sido desenvolvido nos Estados Unidos, vem sendo usado em alguns países de diferentes condições climáticas como Itália (KOTTEGODA; NATALE; RAITERI, 2000), Grécia (TERZOUDI *et al.* 2007), Iraque (HUSSEIN, 1996), Zimbábue (GUMBO *et al.* 2002) e Brasil (TASSI *et al.* 2006; CARLESSO, *et al.* 2011 e AQUINO *et al.* 2008), outros trabalhos tendo sido realizados a fim de calibrar ou melhorar alguns de seus parâmetros como CN para alguns tipos de cobertura (AUERSWALD;

HAIDER, 1996) das abstrações iniciais (SHI *et al.* 2009; MELLO *et al.* 2003) e umidade antecedente (YOUNG; CARLETON, 2006). Este método assume a proporcionalidade entre a retenção e o escoamento superficial direto, na relação (F/S = H/P), em que: F é a retenção atual (P - H); S a retenção potencial; H o escoamento atual; e P o total precipitado excluído as abstrações iniciais (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; PONCE; HAWKINS, 1996).

A estimativa do escoamento superficial é obtida por dois parâmetros: a precipitação que pode ser obtida através do registro dos postos pluviométricos; e do parâmetro CN que é uma relação entre as características do solo e seu uso e cobertura, que atualmente se encontra tabulado na maioria dos manuais e livro de hidrologia e drenagem (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993; PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004; RIGHETTO, 1998). Depois de obtido o valor médio de CN para uma bacia hidrográfica, pode-se obter os demais parâmetros como a abstração inicial (Ia), que são as perdas por evaporação, interceptação vegetal, acumulação nas depressões da bacia e outras, que estão diretamente relacionadas ao armazenamento potencial do solo (S). O método CN ainda leva em consideração a umidade antecedente baseada na precipitação total ocorrida nos últimos cinco dias ao evento em que houve escoamento. Portanto, obtém-se um valor do número da curva, CN I; CN II e CN III para condição de solo seco, normal e úmido, no qual os outros parâmetros são reajustados de acordo com o CN utilizado.

Ponce e Hawkins (1996) apontaram em seu trabalho uma relação das vantagens e desvantagens do método CN. Entre as vantagens se destacam: i) método simples, apoiado por dados empíricos, para estimação do escoamento direto baseado na precipitação total; ii) depende somente de um parâmetro o número da curva - CN que varia em função de quatro propriedades da bacia: grupo hidrológico de solo, uso e cobertura do solo, condições da superfície hidrológica e condições de umidade antecedente; iii) a metodologia esta caracterizada com a realidade controlada e relacionada com entradas do ambiente bem documentadas e iv) o método está bem estabelecido sendo usado e aceito nos Estados Unidos e outros países, o que possibilita a comparação entre as regiões. Como desvantagens os autores apresentaram: i) o método foi originalmente desenvolvido usando dados regionais do meio oeste dos Estados Unidos, por isso recomendado com precaução para outras regiões geográficas e climáticas; ii) em alguns casos, particularmente para valores de CN baixo e/ou com pequena precipitação, o método pode ser muito sensível para determinação do CN e das condições antecedente de umidade; iii) pelo método ter sido desenvolvido para áreas agrícolas e posteriormente aplicado para áreas urbanas ele negligencia o escoamento de base, e

portanto, tem melhor aplicabilidade para bacia hidrográficas de primeira e segunda ordem em regiões subúmidas e úmidas e para rios efêmeros em regiões áridas e semiáridas; iv) o método não contabiliza o efeito de escala espacial na determinação do escoamento superficial (HUSSEIN, 1996) e v) o método fixa a taxa de abstração inicial em $\lambda = 0,2$. Young e Carleton (2006) destacaram a insensibilidade do método a umidade antecedente (ou chuva antecedente) nas variações de chuva para chuva, provocadas por causas específicas. Entre as causas podem incluir, mudanças sazonais nas características de bacias hidrográficas, variabilidade espacial e temporal no volume e intensidade de chuva, temperatura e outros efeitos meteorológicos, mudanças físicas no campo, bem como a umidade do solo.

Alguns trabalhos têm buscado determinar o valor CN para algumas bacias hidrográficas localizadas no semiárido nordestino, como Costa (2007) e Figueiredo (2011) que para uma bacia de Caatinga preservada determinaram um CN médio de 42 e 52, respectivamente. Silva (2009) também utilizou o método CN associado a ferramentas de SIG (Sistema de Informações Geográficas) para determinar o escoamento superficial e a vazão de pico em uma bacia semiárida.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados neste trabalho se referem ao período de 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011 e fazem parte do Projeto "Estudos dos processos de degradação/desertificação e suas relações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral – Ceará". A comparação analítica das variáveis hidrológicas e sedimentológicas foram realizadas a partir dos dados de precipitação (lâmina e intensidade), de escoamento superficial e de perda de solo, obtidos nas duas encostas estudadas. Para a estimativa da perda de solo no período de estudo, recorreu-se a modelos de geração de escoamento superficial (método SCS) associados a modelos de perdas de solo (curva-chave e EUPS*SDR).

3.1 Caracterização da área de estudo

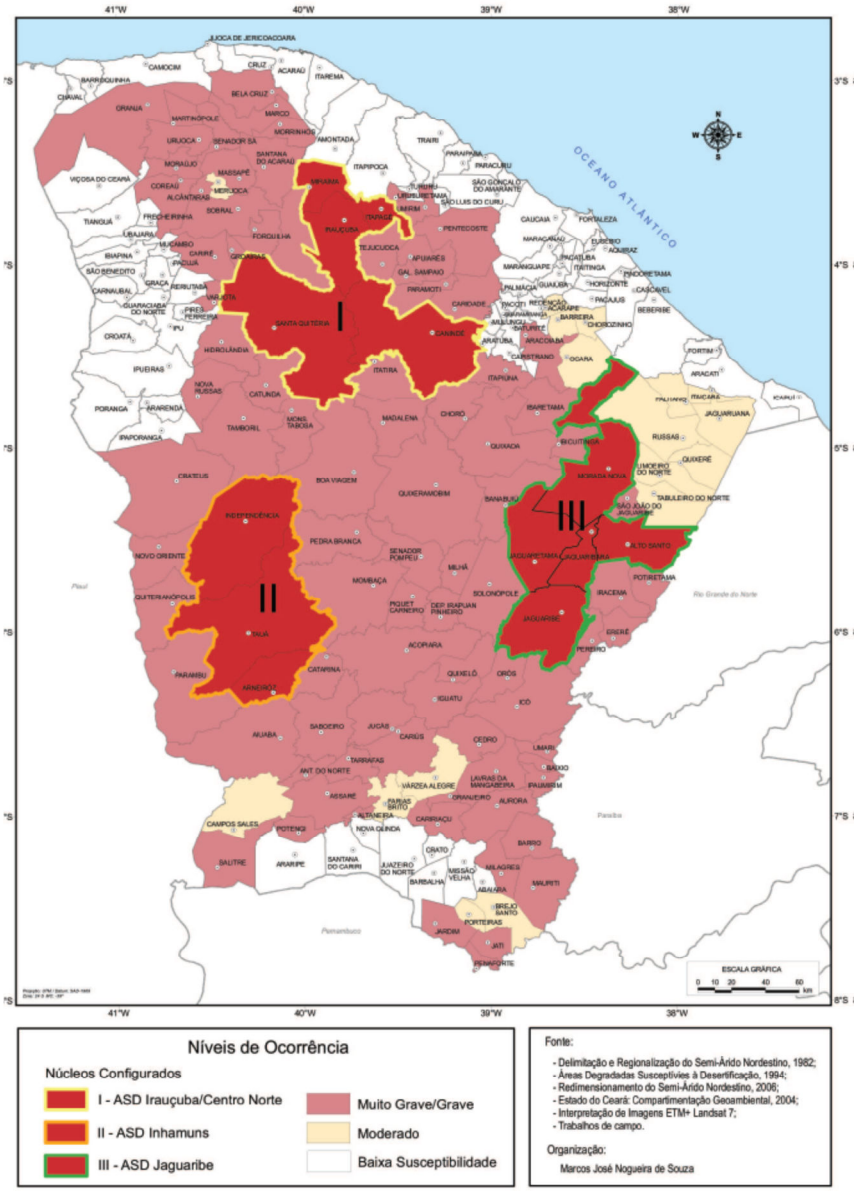
O estado do Ceará se estende por uma área de aproximadamente 148 mil km², onde vivem mais de 8,4 milhões de pessoas, das quais um quarto vive no campo (IBGE, 2010a). O Estado ainda possui alta concentração de terras, de modo que cerca de 90% dos estabelecimentos pertencem à agricultura familiar, termo definido pela Lei nº 11.326, compreendendo apenas 46% das terras agrícolas do Ceará, enquanto que 10% das demais propriedades respondem por 56% das áreas agrícolas (IBGE, 2006).

O município de Irauçuba possui um território de 1.451 km² com população de 22,3 mil habitantes, com 36% da população vivendo na zona rural (IBGE, 2010b). Segundo dados do Censo agropecuário (IBGE, 2006), a concentração de terras no município é superior à média do Estado. No município, 80% dos estabelecimentos rurais pertencem à agricultura familiar, o que representa pouco mais de 15% da área agrícola municipal. A produção agropecuária de Irauçuba corresponde a 20% do PIB municipal, cujas principais atividades agrícolas são milho e feijão. Estas culturas respondem por mais de 95% daquela praticada no município. A principal atividade pecuária é a criação de gado bovino e ovinocaprino, com rebanho de 23.150 e 32.730 cabeças, respectivamente (IBGE 2008). Considerando-se a extensão do município de Irauçuba, os tipos de solos e a situação da pastagem nativa,

Mesquita *et al.* (1981) concluíram que a lotação adequada total do município é de aproximadamente 12.000 unidade animal (UA). Portanto para as condições atuais da população animal o município apresenta um sobrepastejo acima de 54%.

Entre os três núcleos de desertificação identificados no Estado do Ceará. O município de Irauçuba está inserido na região pertencente às ASDs dos sertões de Irauçuba e Centro-Norte (Núcleo – I) (Figura 2), compreendendo área total de 9.706,42 km² compondo ainda os municípios Santa Quitéria, Miraíma e Canindé (CEARÁ, 2010; LEITE; SOARES; MARTINS, 1993). Essa região também foi estabelecida como um dos quatro núcleos de degradação/desertificação identificados no semiárido brasileiro (BRASIL, 2004).

Figura 2 – Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.



Fonte: CEARÁ (2010).

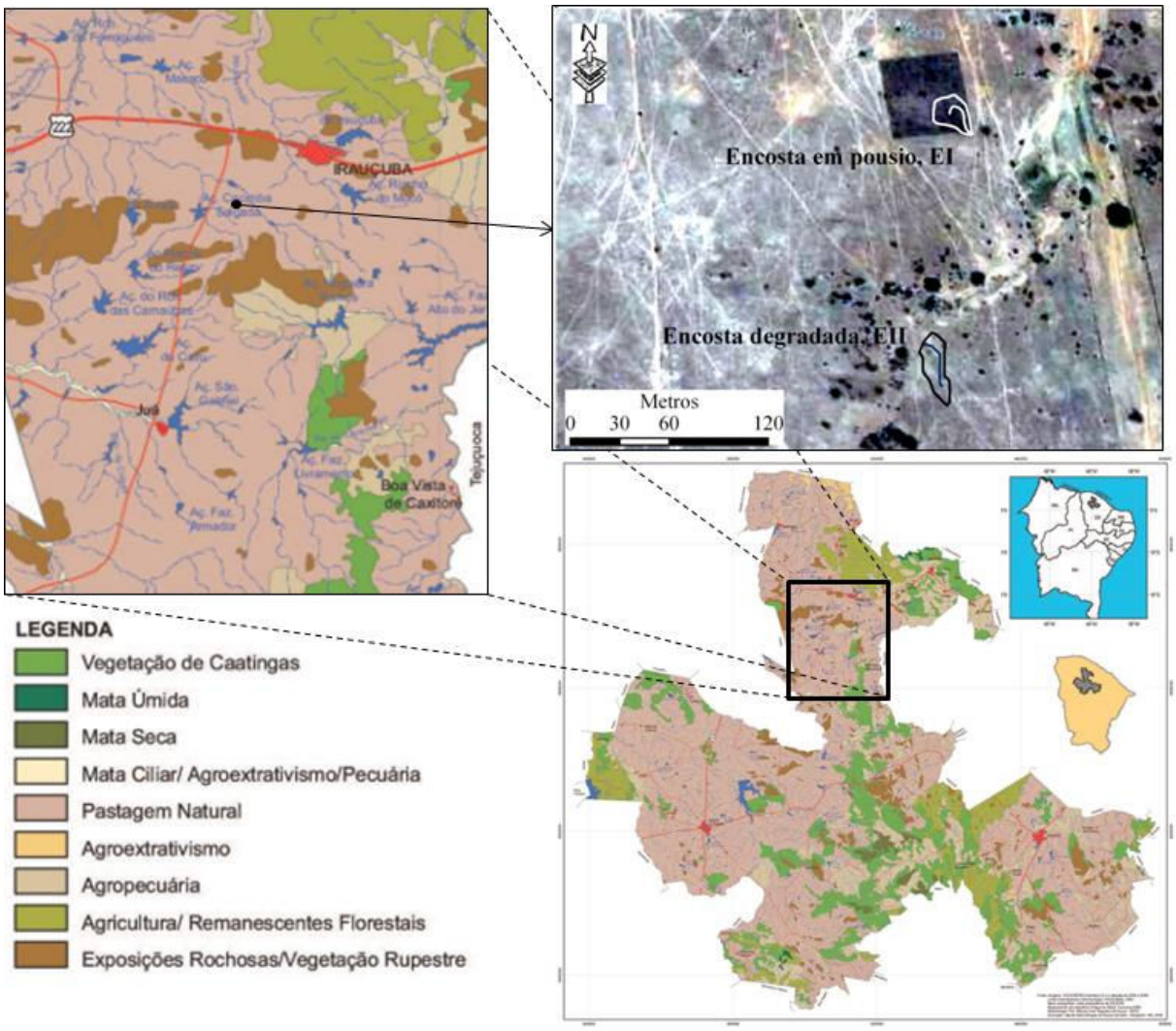
A área experimental localiza-se no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba. O clima da região é do tipo quente e semiárido com chuvas de verão (média anual de 530 mm) com índice de aridez de 0,34. A vegetação nativa é do tipo Caatinga arbustiva aberta, sendo que a principal atividade econômica na área de estudo é a pecuária extensiva (bovino e ovino) em sobrepastejo, sem uso de práticas conservacionistas (CEARÁ, 2009). Maiores detalhes sobre a caracterização das condições ambientais deste município podem ser encontrados no trabalho realizado por Sales (2003) que estudou sobre as condições climáticas, morfo-pedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba. Ainda no estudo de Sales *op cit.* estudou-se a vegetação, o uso e a ocupação das terras.

Escolheu-se como área representativa da encosta em pousio (EI), uma das oito áreas de exclusões de animais, cercadas com nove fios de arame farpado e estaqueadas a cada metro para evitar a entrada de animais domésticos, nas quais estão sendo avaliados os processos de regeneração da vegetação e do solo de forma natural. As exclusões foram cercadas no primeiro semestre de 2000 em diferentes locais do município, e desde sua implantação estão sendo realizados vários estudos como os realizados por Sales (2003); Sales e Oliveira (2005 e 2006); Pessoa (2008); Souza (2009). Cada exclusão possui área de 2.500 m² (50 x 50 m).

Para escolha da área em recuperação levou-se em consideração alguns aspectos importantes para a boa execução do projeto. Usou-se como critério a melhor localização (tanto pelo acesso como pela maior facilidade de monitoramento), além da uniformidade de solo, clima, relevo e tamanho. Entre as oito áreas, a **Exclusão V** foi escolhida, por melhor atender aos requisitos acima citados.

Para a encosta degradada (EII) foi escolhida uma área próxima à Exclusão V que mantivesse as mesmas condições climáticas, topográficas, de solo e de tamanho. Assim a diferenciação entre as áreas deve ser feita em função do efeito da cobertura e uso do solo. A área escolhida fica a cerca de 200 m da exclusão V, já sendo utilizada há mais de 20 anos pela pecuária extensiva. A Figura 3 apresenta a localização das encostas EI e EII e a representatividade das duas encostas quanto ao uso e cobertura do solo no núcleo de desertificação de Irauçuba.

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo na área susceptível a desertificação de Irauçuba (ASD – I). Localização da encosta em pousio (EI) e da encosta degradada (EII), destacando-se o contraste da cobertura do solo entre as duas áreas.



Fonte: Adaptado de CEARÁ (2010) e Imagem extraída do *Google Earth* referente a janeiro de 2004.

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os atributos físicos, químicos e a granulometria do solo das encostas em estudo. Os atributos foram determinadas por meio da análise físico-química de uma amostra composta (três subamostras) nas profundidades, de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm, coletadas no período chuvoso (28 de abril de 2011). As análises foram realizadas pelo laboratório de solos e água da FUNCEME.

A determinação das características morfológicas (Tabela 4) foi extraída do trabalho de Souza (2009), que estudou a degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação no município de Irauçuba, Ce. Onde foram avaliadas seis áreas de exclusões, inclusive a Exclusão V, área da qual é objeto deste estudo.

Tabela 2 – Atributos físicos e granulometria do solo sob as áreas de exclusão de animais (EI) e de sobrepastejo (EII) no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, abril de 2011

Área	Composição Granulométrica					Densidade		Umidade			pH	CE	Textura
	AG	AF	Silte	Argila	AN	Global	Partículas	CC (0,033 MPa)	PMP (1,5 MPa)	AD			
	--- --- --- --- --- --- --- g kg^{-1}--- --- --- --- --- --- ---					--- kg dm^{-3} ---		--- --- --- --- g 100 g^{-1} --- --- --- ---			Água	dS m^{-1}	---
0 - 20 cm													
EI	371	343	193	93	80	1,46	2,58	11,65	7,14	4,51	5,7	0,32	Fr. aren.
EII	407	255	203	135	121	1,47	2,55	13,16	10,59	2,57	6,2	0,22	Fr. aren.
20 - 40 cm													
EI	348	140	214	298	291	1,39	2,58	26,36	19,36	7,00	6,3	1,63	Fr. arg. aren
EII	375	179	224	222	191	1,47	2,63	19,99	16,01	3,98	6,8	0,85	Fr. arg. aren.

EI – Encosta em pousio; EII: - Encosta degradada; AG – Areia Grossa; AF – Areia Fina; AN – Argila Natural; CC – Capacidade de Campo; PMP – Ponto de Murcha Permanente; AD – água disponível; pH – Potencial de Hidrogênio; e CE – Condutividade Elétrica.

Tabela 3 – Atributos químicos do solo sob as áreas de exclusão de animais (EI) e de sobrepastejo (EII) no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, abril de 2011

Área	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$(H^{+}+Al^{3+})$	Al^{3+}	S	T	V	m	PST	C/N	C	N	M.O
	--- --- --- --- --- --- --- --- $cmol_c$ kg^{-1} --- --- --- --- --- --- --- ---								--- --- --- % --- --- ---				--- --- g kg^{-1} --- ---		
0 - 20 cm															
EI	4,00	2,00	0,36	0,15	2,15	0,55	6,5	8,7	75	8	4	11	5,70	0,51	9,83
EII	6,80	6,50	0,30	0,17	1,49	0,25	13,8	15,3	90	2	2	10	4,74	0,48	8,17
20 - 40 cm															
EI	12,00	5,50	2,50	0,09	0,83	0,25	20,1	20,9	96	1	12	13	2,76	0,21	4,76
EII	9,50	8,80	1,39	0,13	0,83	0,25	19,8	20,6	96	1	7	9	2,82	0,31	4,86

EI – Encosta em recuperação; EII – Encosta em processo de desertificação; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Na – Sódio; K – Potássio; Al – Alumínio; H – Hidrogênio; S – Soma de base; T – Capacidade de Troca de Cátions; V – Saturação de base; m – Saturação por Alumínio; PST – Percentagem de Sódio Trocável; C/N – Relação Carbono/ Nitrogênio; C – Carbono; N – Nitrogênio e M.O – Matéria Orgânica.

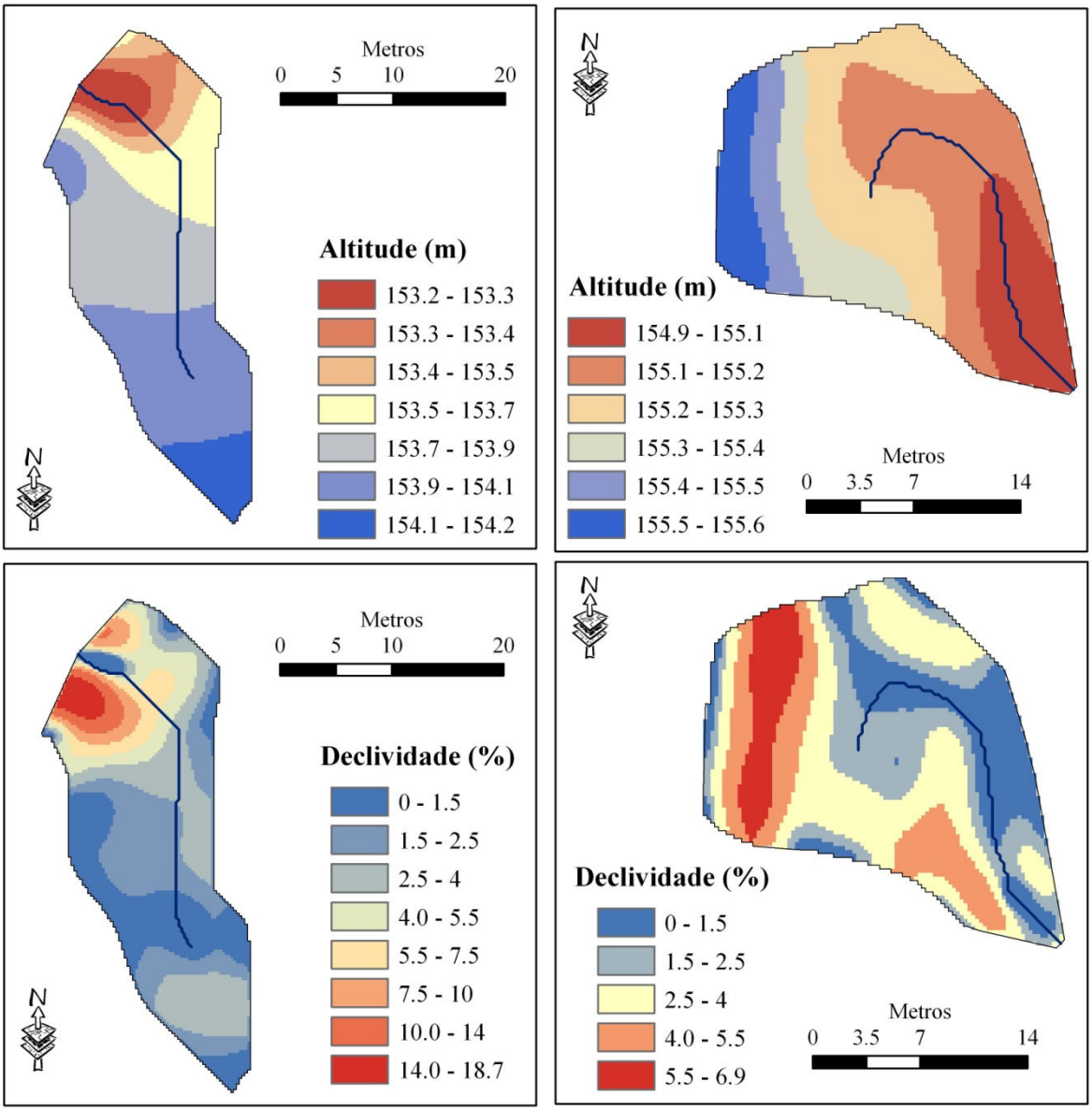
Tabela 4 – Principais características morfológicas do solo nas duas encostas EI e EII, localizadas no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba – Ce

Hor.	Prof (cm)	Cor (úmido)	Textura[2]	Estrutura[3]	Consistência[4]	Transição[5]
			Perfil - Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco			
Ap	0 – 3	2,5Y 5/3	Franco arenosa	mo, md e gr, bsa	ma, ldu, fri, npl, npg	pla e cla
E	3 – 17	2,5Y 5/4	Franco arenosa	fr, pq e md, bsa	ldu, fri, npl, npg	pla e abr
Btn1	17 – 25	2,5Y 7/1	Fr. argilo-arenosa	fo, gr e mgr, pri e co	edu, pl, pg	Irr e gra
Btn2	25 – 49	2,5Y 6/2	Franco arenosa	fo, mgr, co	edu, mpl, pg	Irr e gra

Fonte: Souza (2009).
2 Fr = Franco.
3 gs = grão simples, mc = maciça, fr = fraca, mo = moderada, fo = forte; mpq = muito pequena, pq = pequena, md = média, gr = grande, mgr = muito grande; pri = prismática, co = colunar, ba = bloco angulares, bsa = bloco subangulares, gra = granular.
4 so = solto, ma = macio, ldu = ligeiramente duro, du = duro, mdu = muito duro, edu = extremamente duro; mfri = muito friável, fri= friável, fi = firme; npl = não plástico, lpl = ligeiramente plástico, pl = plástico, mpl = muito plástico; npg = não pegajosa, lpg = ligeiramente pegajosa, pg = pegajosa, mpg = muito pegajosa.
5 abr = abrupta, cla = clara, gra = gradual, dif = difusa; pla = plana, ond = ondulada, irr = irregular.

As características fisiográficas das duas encostas em estudo estão apresentadas na Figura 4 e na Tabela 5. A obtenção destes parâmetros foi auxiliada pelo uso das ferramentas do *software* ArcGis 9.3 no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC. Os dados apresentados na Tabela 5 foram obtidos conforme método apresentado por Villela e Mattos (1975).

Figura 4 – Mapa da altitude e declividade da encosta em pousio e da encosta degradada, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce.



Encosta degradada (EII) Encosta em pousio (EI)

O Coeficiente de compacidade, K_c é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de círculo de área igual à da bacia. Quanto mais próximo o resultado da

unidade, mais circular é a bacia, apresentando maior tendência a enchentes em relação à outra com K_c maior (VILLELA; MATTOS, 1975). O fator forma, K_f é a relação entre a largura média da bacia e o comprimento axial da bacia. Este índice constitui um indicativo da maior ou menor tendência para enchentes em uma bacia. Quanto menor o K_f menos sujeita a enchentes está à bacia em relação à outra com K_f maior (VILLELA; MATTOS, 1975). A determinação do tempo de concentração (t_c) das encostas foi realizada através da equação desenvolvida por Kirpich (ver BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). A escolha dessa equação foi devido a similaridade das encostas estudadas, com a forma com a qual a mesma foi desenvolvida. Seu desenvolvimento deu-se a partir de informações de sete pequenas bacias agrícolas, com declividades variando entre 3 e 10% e áreas de máximo 0,5 km², sendo expressa por:

$$t_c = 0{,}02 \times L^{0{,}77} \times S^{\ 0{,}385} \qquad (1)$$

em que, t_c é o tempo de concentração (min.); L é o comprimento do talvegue (km) e S diferença de nível entre o ponto mais remoto da bacia (encosta) e a seção de deságue, (m).

Tabela 5 – Características físicas da encosta em pousio (EI) e da encosta degradada (EII), sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce

Características	EI	EII
Área (m²)	370,0	468,0
Coeficiente de compacidade, K_c	1,3	1,56
Fator de forma, K_f	0,41	0,27
Tempo de concentração, t_c (min.)	1,1	1,3
Densidade de drenagem, Dd (m m^{-1})	0,086	0,082
Extensão máxima do escoamento superficial (m)	2,9	3,0
Sinuosidade do rio principal	0,94	0,76
Declividade média da bacia (m m^{-1})	0,029	0,034
Altitude máxima (m)	155,63	154,20
Altitude média(m)	155,24	153,78
Altitude mediana (m)	155,21	153,85
Altitude mínima (m)	154,99	153,24

3.2 Pluviometria

O monitoramento pluviométrico nas duas encostas teve início no mês de dezembro de 2009, igualmente ao do escoamento superficial. Mas somente no mês de abril de 2010 é que foi possível a instalação do Pluviômetro de Báscula automático.

Os dados de precipitação utilizados foram levantados a partir de dados secundários e dados primários. Os dados primários foram obtidos por dois pluviômetros *Ville de Paris*, no qual diariamente, no mesmo horário (às 7 h) era realizada a leitura do total precipitado no dia anterior. As leituras foram sempre realizadas pelo mesmo observador a fim de minimizar os erros. Já os dados de intensidade das precipitações a cada cinco minutos (I_5), foram registradas pelo Pluviômetro de Báscula automático. Através do qual foi possível obter o conhecimento sobre as grandezas características do evento pluviométrico como a altura pluviométrica, a intensidade, a duração e o padrão hidrológico da chuva.

Os dados secundários foram obtidos por meio do posto pluviométrico da FUNCEME (2011), com intuito de determinar as características pluviométricas da região através do tratamento do histórico das chuvas diárias no período de 1981 a 2010.

3.3 Erosividade da chuva

A erosividade das chuvas foi determinada por meio da intensidade de chuva, obtida com o Pluviômetro de Báscula automático, com medição de chuva a cada cinco minutos. A erosividade foi calculada para cada evento erosivo, que satisfizesse as condições estabelecidas por Wischmeier (1959). Por meio da obtenção da intensidade média e a intensidade máxima em tinta minutos (I_{30}) pôde-se calcular o fator R de acordo com as equações 2 e 3, propostas por Wischmeier e Smith (1958) mais detalhes sobre o cálculo ver também em Haan; Barfield; Hayes (1993).

$$R = \sum Ec * I_{30} \qquad (2)$$

O valor da energia cinética da chuva (Ec) é obtido de acordo com a equação 3.

$$Ec = 916 + 331 \log_{10} i \qquad \text{para: } i \leq 3 \text{ in } h^{-1} \qquad (3.a)$$

$$Ec = 1074 \times i \qquad \text{para: } i > 3 \text{ in h}^{-1} \qquad (3.b)$$

Nas equações 2 e 3, R é a erosividade da chuva (ft tonsf in acre^{-1} h^{-1} ano^{-1}); Ec a energia cinética de precipitação por unidade de área (ft tonsf acre^{-1} in^{-1}); I_{30} a intensidade máxima de precipitação em meia hora (in h^{-1}); e i a intensidade média da chuva (in h^{-1}). Basta multiplicar por 17,02 o valor de R em ft tonsf in acre^{-1} h^{-1} ano^{-1}, para transformar para o Sistema Internacional de unidades – SI (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}).

Para as situações em que não foi possível obter os dados de intensidade de chuva, devido ao mau funcionamento do pluviômetro, utilizou-se o histórico das precipitações captadas pelo mesmo e suas respectivas erosividades e gerou-se uma equação que foi usada para estimar a erosividade das chuvas a partir das precipitações registradas pelo pluviômetro *Ville de Paris*.

3.4 Padrão hidrológico das chuvas

Além da erosividade, outra importante característica relacionada com o processo de erosão hídrica do solo é o padrão hidrológico da chuva (MAZURANA *et al.* 2009), devido a um importante componente das chuvas naturais que é a variação da intensidade durante a sua ocorrência. Alguns pesquisadores estudam essa variação, a fim de identificar em qual momento ocorre a maior intensidade de chuva, ou seja, o padrão hidrológico da chuva. Dentre algumas formas de classificar o padrão de chuva tem-se: o padrão de Huff (HUFF, 1970 *apud* TUCCI, 1993) e o modelo proposto pelo IAPAR (IAPAR, 1975 *apud* ELTZ; MEHL; REICHERT, 2001). O padrão de Huff classifica as precipitações em quatro grupos, cada chuva tem sua duração dividida em quatro partes. Sendo as mesmas classificadas de acordo com a parte da duração em que caiu a precipitação de máxima intensidade (TUCCI, 1993).

O modelo do IAPAR classifica as chuvas em somente três grupos, em que cada precipitação tem sua duração dividida em três partes. Sendo as mesmas classificadas de acordo com a parte da duração em que caiu a precipitação de máxima intensidade. A denominação dada para cada parte ou grupo é: padrão Avançado (quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo menor do que 30% a partir do momento inicial da chuva, em relação ao tempo de duração total da chuva); padrão Intermediário (quando a maior intensidade ocorre entre 30 e 60% do tempo total da chuva); e padrão Atrasado (quando a

maior intensidade ocorre passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva) (ELTZ; MEHL; REICHERT, 2001).

As características das chuvas mudam de região para região e, assim, cada região deve possuir seu padrão hidrológico característico. No qual as processos hidrológicos e sedimentológicos são afetadas pela característica do padrão hidrológico. Daí a importância do seu conhecimento em cada região (ARAÚJO; PIEDRA, 2009; BAZZANO; ELTZ; CASSOL, 2007; CARVALHO *et al.* 2005; ELTZ; MEHL; REICHERT, 2001; MAZURANA *et al.* 2009; MEHL *et al.* 2001).

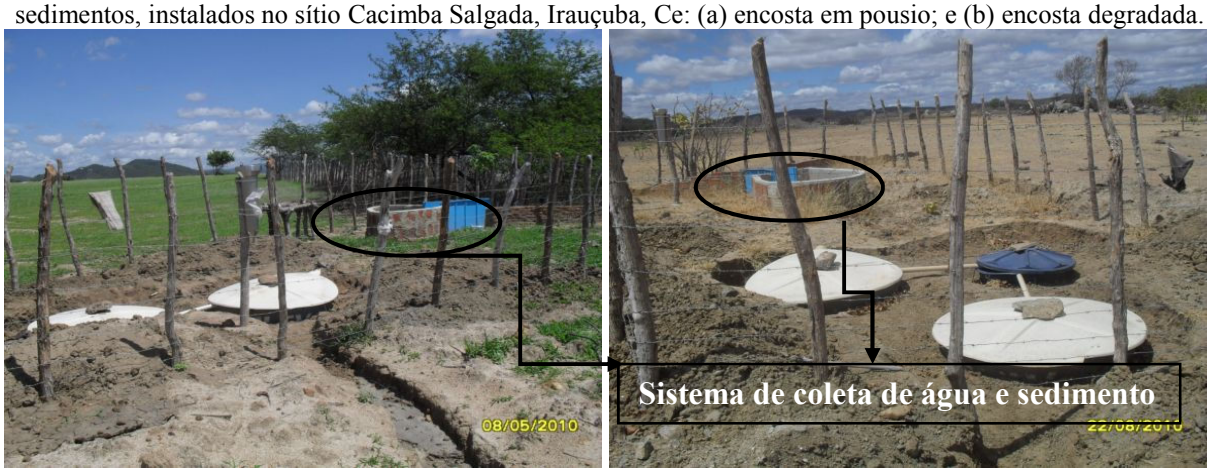
3.5 Escoamento Superficial

O monitoramento do escoamento nas duas encostas teve início no dia 01 de janeiro de 2010. As especificações de cada um dos equipamentos instalados estão descriminadas no Anexo C deste trabalho. Do volume total captado pela primeira caixa em ambas as encostas deve ser descontado o volume gerado pela parte impermeável (Figura 5) que compõe o sistema de coleta do escoamento, que corresponde à equação 4 dada por:

$$V_{caix.1} = v_{coletado} \quad P \times \alpha \times A \tag{4}$$

em que, $V_{caix.1}$ o volume real escoado pelas encostas; $v_{coletado}$ o volume coletado na primeira caixa nas encostas; P a precipitação em cada encosta; α o coeficiente de escoamento; e A área impermeável em cada encosta, m².

Figura 5 – Fotos dos pluviômetros *Ville de Paris* e das caixas coletoras de escoamento superficial e de sedimentos, instalados no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce: (a) encosta em pousio; e (b) encosta degradada.



(a) (b)

O coeficiente de escoamento (α) foi obtido após a simulação de uma chuva com volume inicial conhecido sobre a área impermeabilizada em cada encosta captando-se um volume final, cujo coeficiente é dado pela razão entre volume final sobre o inicial, cujo resultado após três repetições foi de 0,8 para EI e 0,7 para EII. As áreas impermeabilizadas são o resultado da área da *Calha Parshall* e da área cimentada após as calhas, sendo de 1,2 m² para EI e 2,24 m² para EII. O escoamento superficial foi captado pelas caixas coletoras, conforme ilustrado nas Figuras 5a e 5b, em que o volume total escoado foi obtido por meio das equações 5a e 5b, para as encostas EI e EII, respectivamente.

$$V_{EI} = V_{caix.1} + (8 \times V_{caix.2}) \quad (5.a)$$

$$V_{EII} = V_{caix.1} + (10 \times V_{caix.2}) + (18 \times V_{caix.3}) \quad (5.b)$$

Após todo evento capaz de gerar escoamento superficial foram realizadas amostragens dos sedimentos retidos nas caixas, conforme o procedimento utilizado por Cruz (2006) e descrito a seguir:

a) A observação da vazão de pico identificado na régua graduada da *Calha Parshall* (Figura 6a). A vazão de pico ao passar pela calha deixa uma marca de sedimento que fica registrada na régua, com isso pôde-se obter essa vazão através da graduação presente na *Calha Parshall*;

b) Realização de leitura do volume captado nas caixas coletores de escoamento (Figura 6b).

c) O procedimento de coleta da amostra de sedimento foi igualmente adotado para todas as caixas, sendo retirados quatros subamostras em quatro períodos de esvaziamento das caixas sempre homogeneizando a solução até que, ao final, tinha-se uma amostra composta de dois litros para cada caixa.

d) Após a realização desses procedimentos, as caixas eram lavadas e tampadas, aguardando o próximo evento de chuva, quando se repetiam todos esses procedimentos.

Figura 6 – Registro de dados na coleta de campo: (a) observação da vazão de pico por meio da marca deixada pela água com sedimento que passou pela *Calha Parshall* e vazão instantânea; (b) registro do volume captado pelas caixas d'água em escoamento na encosta degradada – EII.

(a) (b)

As amostras, depois de identificadas, foram embaladas em jornal e armazenadas em local fresco e arejado, ao abrigo de luz até que as mesmas fossem levadas ao laboratório para realização das análises. Os cálculos da lâmina escoada e do coeficiente de escoamento para cada evento foram realizados através do balanço hídrico das entradas (precipitações) e saídas da encosta (escoamento superficial), de acordo com as equações 6 e 7, respectivamente.

$$H_i = \frac{V_i}{A_i} \tag{6}$$

$$Cr_i = \frac{H_i}{P_i} \times 100 \tag{7}$$

Nas Equações (6) e (7), H_i é o escoamento superficial na encosta (mm); V_i o volume observado nas caixas d'água (L); A_i a área da encosta (m²); Cr_i o coeficiente de escoamento ou coeficiente de *runoff* (%); e P_i a precipitação registrada no pluviômetro *Ville de Paris* instalado em cada encosta (mm).

3.6 Perda de solo

O método usado para a determinação da concentração de sedimentos foi o da secagem, para obtenção dos sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis (Equações 8, 9 e 10,

respectivamente), de acordo com o método apresentado por Silva e Oliveira (2001). As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará.

$$ST = (P_1 - P_0) \times 10.000 \quad (8)$$

$$SF = (P_2 - P_0) \times 10.000 \quad (9)$$

$$SV = (P_1 - P_2) \times 10.000 \quad (10)$$

Nas equações 8, 9 e 10, ST representa a concentração de sólidos totais na amostra (mg L^{-1}); SF a concentração de sólidos fixos presentes na amostra, correspondente a parte mineral do total de sedimentos carreados (mg L^{-1}); SV é a concentração de sólidos voláteis presentes na amostra, correspondente à parte orgânica do sedimento carreada pelo fluxo (mg L^{-1}); P_0 peso do recipiente (cápsula de porcelana) da amostra (g); P_1 peso total da amostra seca à temperatura de 100 – 105°C após esfriar no dessecador por duas horas (g); e P_2 peso total da amostra seca à 500°C, por um tempo de 20 minutos, após esfriar no dessecador por duas horas (g).

Por meio da determinação do ST, pode-se obter a concentração de sedimentos (C_s) para cada evento nas duas encostas. Pelas equações 11a e 11b foi feita a determinação da massa de solo erodida (ME_i) em g, para EI e EII, respectivamente. Essa determinação foi feita pela multiplicação da concentração de sedimentos obtida para cada caixa, (Cs_i em mg L^{-1}) pelo volume afluente representativo de cada caixa (V_i em L) e soma dos resultados respectivos de cada encosta.

$$ME_{EI} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2 \quad (11.a)$$

$$ME_{EII} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2 + Cs_3 \times V_3 \quad (11.b)$$

A perda de solo por unidade de área ($P.S_i$) em kg ha^{-1}, para cada encosta, foi determinada pela razão entre a massa erodida (ME_i), em kg e a área (A_i) correspondente de cada encosta em estudo em ha, como apresentado na equação 12.

$$PS_i = \frac{ME_i}{A_i} \quad (12)$$

3.7 Potencial de araste de sedimento

O potencial de arraste de sedimento (PAS) foi calculado pela razão entre a perda de solo (Mg ha^{-1}) e a perda de água[2] (m). Ele representa a susceptibilidade do solo à erosão hídrica, expressando a maior erodibibilidade de um solo, bem como o nível de proteção que o solo apresenta contra as perdas. Diferentes solos sob as mesmas condições de clima, relevo e cobertura podem apresentar valores de PAS diferentes (MARTINS *et al.* 2003; SILVA *et al.* 2005; SILVA, 2006). Assim como um solo sob mesmas condições de clima e topografia, mas com diferente cobertura do solo, também podem apresentar valores de PAS divergentes (MARTINS *et al.* 2003; SILVA, 2006; CARVALHO *et al.* 2007).

3.8 Erodibilidade do solo

A determinação do fator K foi realizada de forma indireta, por meio dos parâmetros físicos do solo, como granulometria, teor de matéria orgânica, textura, estrutura e permeabilidade. A determinação destes parâmetros foi obtida em laboratório pelas análises físicas e por testes em campo com o infiltrômetro de anéis concêntricos.

O dois métodos utilizados para obtenção da erodibilidade nas duas encostas foram os de Wischemeier *et al.* (1971 *apud* HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993) e o de Romkens *et al.* 1987. As amostras de solo foram realizadas em duas profundidades (0 – 20 cm e de 20 – 40 cm) e, como as amostras apresentaram diferenças significativas quanto a sua composição e estrutura, optou-se por determinar o K para cada profundidade. O fator K de cada bacia foi obtido pela média aritmética da erodibilidade obtida em cada camada.

Ao longo da pesquisa foram usados dois métodos, para fins de maior consistência, no cálculo da erodibilidade do solo. O primeiro foi o método do nomograma de Wischmeier que consiste na utilização dos dados de granulometria, textura e permeabilidade. Nesse método o limite do tamanho das partículas (Tabela 6), bem como os códigos para a estrutura e permeabilidade do solo (Tabela 7), deve seguir o padrão definido pelo USDA (1979, ver também HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993).

[2]É considerada perda de água no campo agronômico, toda aquela que não será utilizada pela planta no processo de evapotranspiração. Para esse caso a perda de água referir-se-á exclusivamente ao escoamento superficial.

Tabela 6 – Limites do tamanho das partículas finas do solo a serem utilizadas na determinação do fator K

Granulometria	Limites de diâmetro
Areia	2,0 - 0,1 mm
Areia Fina	0,1 - 0,05 mm
Silte	0,05 - 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Fonte: Haan; Barfield; Hayes (1993).

Tabela 7 – Códigos de permeabilidade e estrutura do solo em função de sua textura para uso no nomograma de Wischmeier para obtenção do fator K

Classe Textural	Permeabilidade código	Condutividade hidráulica saturada [mm h^{-1}]	SCS Grupo Hidrológico de solo
Argiloso, franco argiloso	6	<1	D
Argilo arenoso, Franco argilo-siltoso	5	1 a 2	C-D
Franco argilo-arenoso, Franco argiloso	4	2 a 5	C
Franco siltoso, Franco	3	5 a 10	B
Areia franca, Franco arenoso.	2	10 a 60	A
Areia	1	>60	A

Fonte: Haan; Barfield; Hayes (1993).

Com os parâmetros acima definidos mais a porcentagem de matéria orgânica do solo, pode-se calcular o valor da erodibilidade do solo através da equação 13.

$$K = \frac{0{,}1317 \times 0{,}00021(12 - MO)M^{1{,}14} + 3{,}25(S - 2) + 2{,}5(P - 3)}{100} \qquad (13)$$

Na equação 13: K é a erodibilidade, em Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}; MO a porcentagem de matéria orgânica do solo; S o índice de estrutura; P o índice de permeabilidade e M o produto da fração das partículas primárias do solo [(% de silte + % areia muito fina) x (100 - % de argila)].

O segundo método para a estimativa de erodibilidade foi o de Romkens *et al.* (1987), que se baseia exclusivamente na composição granulométrica do solo em classes. Nesse trabalho foram adotados como limites para as classes granulométricas os valores apresentados na Tabela 5. Definidas as classes, o cálculo do fator K do solo foi obtido por meio das equações 14, 15a e 15b.

$$K = 7{,}594\left\{0{,}0034 + 0{,}0405 \times \exp\left[-0{,}5\left(\frac{\mathrm{Log}(Dg) + 1{,}659}{0{,}7101}\right)^2\right]\right\} \times 0{,}1317 \qquad (14)$$

Na equação 14: Dg é a média geométrica do diâmetro das partículas primárias (mm) calculada de acordo com Shirazi e Boersma (1984), como:

$$Dg = \exp.a \qquad (15.a)$$

Sendo:

$$a = 0{,}01\sum_{i=1}^{n} f_i \times \ln(m_i) \qquad (15.b)$$

Na equação acima, f_i é a porcentagem das frações granulométricas das partículas de areia, areia fina, silte e argila; ln é o logaritmo natural e m_i é a média aritmética dos dois limites do diâmetro das partículas de cada fração granulométrica.

3.9 Determinação do fator topográfico (LS)

A intensidade da erosão hídrica é afetada fortemente pelo comprimento do declive como por seu gradiente. O fator LS é a relação esperada das perdas de solo por unidade de área em uma situação de declive qualquer em relação as perdas de solo correspondente a uma parcela de 25 m de comprimento com declive de 9%. Existem algumas equações para estimar o efeito do comprimento e o grau de declive na perda de solo (BERTONI, 1959; FERNANDES, 2000; FOSTER *et al.* 1981; WISCHIMEIER; SMITH, 1965).

Para este estudo a equação 16, desenvolvida por Bertoni (1959) e apresentada por Bertoni e Lombardi Neto (1990), foi escolhida para ser usada nas duas áreas, na qual L_R é o comprimento de rampa (m) e D o grau de declividade (%).

$$LS = 0{,}00984 \times L_R^{\,0{,}63} \times D^{1{,}18} \qquad (16)$$

Silva *et al.* (2005) classificaram os valores determinados para o fator LS em: amenizador (LS < 0,99), por tratar-se de uma classe onde o papel do relevo não é, matematicamente, acelerador, mas sim amenizador do processo erosivo; neutro (LS = 1), pois a participação do fator LS é nula (elemento neutro de multiplicação); e acelerador (LS > 1), neste caso verifica-se que o valor resultante da perda de solo é ampliado, mostrando a

participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor LS.

3.10 Associação da razão de aporte de sedimentos com o fator cobertura e uso do solo (SDR*C)

A ausência de trabalhos que determinem o efeito da cobertura vegetal sobre a perda de solo no semiárido brasileiro, principalmente para as condições típicas de cobertura encontradas na área de estudo. Aliado ao fato de que o fator C tem seu efeito modificado sobre a perda de solo e do escoamento superficial a partir do desenvolvimento da vegetação. Portanto não podemos admitir um valor único para representá-lo junto a EUPS.

Devido às incertezas apresentadas pelos modelos e equações de determinação da SDR que apresentam geralmente, um valor único a ser usado em cada evento, aliado ao fato de que a SDR é diferente para cada evento erosivo. Sendo que a mesma tem sua taxa também influenciada pela lâmina escoada e pela cobertura vegetal.

Portanto, nesse trabalho optou-se por conjugar num só parâmetro (SDR*C) a razão de aporte de sedimento (SDR) com o fator de uso e cobertura do solo (C). A determinação do mesmo foi realizada pela razão entre a perda de solo medida e a estimada pelos demais fatores da EUPS. Para os eventos em que houve perda de dados o SDR*C foi obtido pela relação entre os valores medidos do fator SDR*C com o escoamento superficial.

3.11 Potência de corrente

A potência de corrente (em inglês *stream power,* Ω, dada em J s^{-1} m^{-2}) é o fluxo de energia ou a taxa de dissipação de energia por unidade de área de superfície. É um importante parâmetro no transporte de sedimentos, sendo a base para vários métodos que estimam o início de erosão, bem como para determinar a taxa de transporte de carga do material do leito. Chang (1988) *apud* Morris e Fan (1998) propõe como hipótese de que as formas geomórficas de canais aluviais evoluem de uma forma que minimize o poder de fluxo

por unidade de comprimento do canal. A potência de corrente pode ser estimada através da equação 17 proposta por Bagnold (1977) *apud* Araújo (2007) definida por:

$$\Omega = \rho g S_0 R_H U \tag{17}$$

em que, ρ é a massa específica da água (kg m^{-3}); *g* é a aceleração da gravidade (m s^{-2}); S_0 o gradiente de declividade (m m^{-1}); R_H o raio hidráulico (que, para o fluxo entre sulcos, onde a largura do escoamento é muito superior à sua lâmina, tende para o próprio valor da lâmina escoada, em metros) e U é a velocidade média do fluxo (m s^{-1}). Para a determinação do U utilizou-se o método apresentado por Tucci; Porto; Barros (1995), pela equação 18 em que S_0 é o grau de declive em % e C_V é coeficiente de velocidade dado pela Tabela 8:

$$U = C_V \sqrt{S_0} \tag{18}$$

A potência de corrente, obtida conforme a equação 17 apresenta três fatores praticamente invariáveis como: massa específica da água ou solução do solo; aceleração da gravidade e gradiente de declividade. Já a velocidade média do fluxo pode variar, principalmente em decorrência de mudanças na rugosidade da superfície e pela vazão de fluxo. Para fins de comparação entre as duas encostas foram estimadas um valor médio de U, obtido a partir do padrão médio da cobertura do solo. Esse padrão representa o efeito médio da rugosidade da superfície. Para fator variável da equação 17, o raio hidráulico, foi adotado como valor a própria lâmina escoada em cada evento.

Tabela 8 – Coeficiente de velocidade de escoamento em superfícies e calhas rasas

Ocupação do solo	C_V
Floretas densas	0,075
Campos naturais poucos cultivados	0,135
Gramas ou pastos ralos	0,210
Solos quase nus	0,300
Canais gamados	0,450
Escoamento em lâmina sobre pavimentos ou em sarjetas e calhas rasas	0,600

Fonte: Tucci; Porto; Barros (1995).

Para o presente estudo o parâmetro C_V para a EI e EII foi de 0,135 e 0,210, respectivamente, estes foram os valores que melhor representam as condições médias de campo para as duas encostas.

3.12 Método SCS para preenchimento de falhas

Os dados de escoamento superficial obtidos pela modelagem para preenchimento de falhas foram usados somente para determinação da estimativa da perda de solo anual.

Um dos grandes desafios da hidrologia é a geração de modelos chuva-escoamento que possam ser aplicados a bacias hidrográficas não monitoradas, visando a predição do deflúvio para um evento de precipitação específico. Diante disso, buscou-se empregar o método SCS para estimar o escoamento superficial e comparar com os valores obtidos, para posterior obtenção do escoamento dos eventos de precipitação sem registro do volume escoado. Este é um método bastante usado na predição do escoamento superficial direto e neste estudo buscou-se determinar o principal parâmetro componente da equação proposta pelo método SCS, que combina as perdas por infiltração com as abstrações iniciais para estimar o excesso de chuva ou o volume de escoamento, equivalente pela relação:

$$Pe = 0 \qquad \text{se } P \leq Ia$$

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \qquad \text{se } P > Ia \qquad (19)$$

em que, Pe é o volume escoado acumulado ou excesso de chuva (mm); P é a precipitação acumulada (mm); I_a é a abstração inicial (mm); e S representa a máxima retenção de água na bacia (mm), dada por:

$$S = 25{,}4 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \qquad (20)$$

O parâmetro CN é conhecido como o número de curva (em inglês, *curve number*) e varia de 1 a 100. Normalmente, para as condições de campo o CN, situa-se entre 35 e 98, sendo o limite inferior para condições de solo com alta taxa de infiltração e com pouco escoamento, já o limite superior é para condições de solo de baixa taxa de infiltração e alto escoamento. Existem atualmente muitas tabelas que apresentam os valores de CN – II para várias superfícies de solos agricolas e urbanos, de acordo com seu grupo de solo, tipo de vegatação e área impermeabilizada e condições hidrológicas da superfície (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993; TUCCI, 1993).

Os autores do método verificaram que, em média, a abstração inicial (I_a) representava 20% da máxima retenção de água no solo, ou seja, $I_a = 0{,}2xS$, devendo portanto

ser adotado este valor para obtenção do escoamento superficial. A determinação do valor de CN fundamenta-se principalmente nas seguintes caracteristicas do solo: tipo ou grupo de solo, uso e manejo do solo, condições da superfície do solo e umidade antecedente do solo. Os quatro grupos de solo são:

Solo A: baixo potencial de escoameto, alta taxa de infiltração quando completamente úmido e perfil profundo, geralmente são solos arenosos, com pouco silte e argila;

Solo B: moderada taxa de infiltração quando completamente úmido de profundidade moderada, com permeabilidade superior à média;

Solo C: produzem escoamento superficial acima da média e com baixa taxa de infiltração quando completamente úmido, contendo percentagem de considerável de argila e pouco profundo;

Solo D: elevado potencial de escoamento superfícial com baixa taxa de infiltração, solo contendo argilas expansivas e pouco profundas ou com camada de impedimento logo abaixo da superfície.

Os limites da taxa de infiltração para grupo de solo definido pelo SCS-USDA são alvo de muitos estudos. Os principais trabalhos sobre a determinação dos limites da taxa de infiltração para classificação dos grupos de solo estão apresentados na Tabela 9, assim como os limites da taxa de infiltração definidos por cada pesquisa.

Tabela 9 – Taxas de infiltração de água no solo propostas por diferentes pesquisadores para a classificação do solo, segundo os grupos definidos pelo SCS-USDA para utilização no método do número da curva

Autor	Taxa de infiltração para os diferentes grupos de solo (mm h^{-1})			
	D	C	B	A
Musgrave, 1955	< 1,3	1,3 – 3,8	3,8 – 7,6	> 7,6
SCS, 1972	< 5,1	5,1 – 20,3	20,3 – 127,0	> 127,0
Leven; Stender, 1967	< 20,3	20,3 – 63,5	63,5 – 127,0	> 127,0
USFS, sem data.	< 12,7	12,7 – 31,8	31,8 – 76,2	> 76,2
Miller *et al.* 1973	< 2,0	2,0 – 3,8	3,8 – 7,6	> 7,6
Estgate, 1977	< 4,6	4,6 – 9,9	9,9 – 30,0	> 30,0
Musgrave, 1973	< 5,6	5,6 – 11,9	11,9 – 25,4	> 25,4

Fonte: Hawkins (1980) *apud* Pruski; Griebeler; Silva, (2001).

Quanto ao uso e manejo do solo, o CN varia pelo tipo de cobertura presente como agricultura, pastagem, floresta e quanto há alguma prática conservacionista no solo para bacia agricolas. Para bacias urbanas o CN varia muito pela porcentagem de área impermeabilizada e o tipo de impermeabilização (asfalto, paralelepipedo, terra).

A condição de superfície empregada na determinação do CN varia entre situação boa, média e ruim das condições do solo e vegetação.

As classes de umidade antecedente do solo, conforme a chuva ocorrida nos últimos cinco dias anteriores ao evento de chuva que promoveu escoamento superficial, foram estabelecidas de acordo com os limites apresentados por Tucci (1993) e Chow; Maidment; Mays (1988):

AMC I: situação em que o solo está seco. Na estação de crescimento da cultura a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 36 mm e no período de dormência ou outro período é menor que 13 mm;

AMC II: situação média em que os solos correspondem à umidade de capacidade de campo;

AMC III: situação em que o solo encontra-se saturado. No período de crescimento da cultura a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é maior que 53 mm e no período de dormência ou outro período é maior que 28 mm;

De acordo com a situação de umidade encontrada no solo, o valor de CN muda. Portanto, é nescessario determinar o valor de CN para as três condições de umidade expostas acima. A partir da determinação do CN-II que representa o solo na condição de umidade normal (AMC II), são utilizadas as equações 21 e 22 apresentadas por Chow; Maidment; Mays (1988) para determinar o valor de CN-I (condição de solo seco) e CN-III (condição de solo úmido), respectivamente.

$$CN(I) = \frac{4{,}2CN(II)}{10 - 0{,}058CN(II)} \tag{21}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0{,}13CN(II)} \tag{22}$$

A determinação do número da curva médio (CN-II) nas duas encostas foi realizada a partir da precipitação e escoamento superficial total obtido em cada evento, considerando a chuva antecedente dos últimos cinco dias e mantendo constantes os demais parâmetros.

Para a calibração e validação do método SCS foi utilizado 14 dos 15 eventos em que foi possível comparar diretamente seu escoamento superficial. A eliminação de um evento ocorreu devido a dois casos em que somente houve escoamento em uma das duas encostas, portanto, não sendo possível usá-los na calibração e validação do método.

Neste trabalho optou-se por agrupar os eventos em ordem crescente de escoamento superficial (H) e ranqueá-los de *i* a *n*. Foram usados os valores ímpares do ranque para calibrar o modelo e valores pares para validar. A escolha desse método de calibração e validação deveu-se, primeiramente, ao período curto de obtenção de dados, apenas dois anos e em segundo, ao número pequeno de eventos registrados (apenas 14) e, por último, às características climáticas muito atípicas apresentadas nos dois anos analisados, um ano muito seco com cinco eventos de escoamento com registro de apenas três, e o outro ano muito úmido com 15 eventos de escoamento e registro de onze eventos. Portanto, a fim de obter um modelo que melhor representasse as condições para a geração de escoamento e que, tanto no processo de calibração como de validação, não corresse o risco dos mesmos serem realizados somente com uma faixa de valores muito baixos ou muito altos, optou-se por utilizar esse método.

Para avaliar a eficiência do método SCS, na obtenção do escoamento superficial nos eventos em que houve perda de informações em ambas as encostas, usou-se o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, NES (NASH; SUTCLIFFE, 1970) expresso por:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_j (Y^j_{obs.} - Y^j_{sim})^2}{\sum_j (Y^j_{obs.} - \overline{Y}_{med.})^2} \tag{23}$$

em que, $\overline{Y}_{med}$ é a média dos valores medidos; $Y_{obs.}$ o valor medido em cada evento observado e $Y_{sim.}$ o valor simulado pelo Método SCS. Os resultados apresentados por NSE variam de $-\infty$ para 1. Por este coeficiente, os modelos podem ser classificados como de ótima qualidade quando NES > 0,75, boa qualidade quando 0,45 < NES < 0,75 e ruim a regular quando NES < 0,45 (AVANZI *et al.* 2008). Após ajustado o valor de CN do Método SCS, este foi aplicado nas duas encostas para obter o escoamento superficial dos eventos que houve perda de dados.

3.13 Estimativa da perda de solo anual no período de 2010 e 2011

Os dados de perda de solo obtidos pela modelagem para preenchimento de falhas foi usada somente para determinação da estimativa da perda de solo anual no período correspondente a esse estudo.

A estimativa da perda de solo foi realizada através de medida direta em campo. Nos casos da não obtenção dos dados (quer do solo, quer do escoamento), a perda de solo foi estimada com base em um dos dois métodos descritos a seguir. O primeiro método consistiu na utilização da equação de curva-chave que estima perda de solo (P.S) em função do escoamento superficial (H). O segundo método consistiu no uso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) associada à razão de aporte de sedimentos (SDR). Na aplicação do segundo método, a determinação dos parâmetros C e SDR foram realizadas em conjunto, por meio da curva, que relaciona os fatores C*SDR com o escoamento superficial (H). Essa curva foi estimada empiricamente a partir dos eventos monitorados em cada uma das encostas. A escolha do método a ser usado em cada uma das encostas foi feita com base no coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970), já descrito anteriormente. Para a encosta em pousio utilizou-se o primeiro método da curva-chave (entre perda de solo e escoamento superficial). Na encosta degradada foi utilizado o método EUPS*SDR.

3.13.1 Método 1 – Curva-chave da perda de solo (P.S) *versus* escoamento (H)

Dois tipos de equação da curva-chave de sedimento foram avaliados. O primeiro tipo corresponde a uma relação linear entre escoamento superficial (H) e perda de solo (P.S). O segundo tipo estabelece uma relação potencial entre as grandezas (equações 24 a 26). Nas referidas equações, P.S é a perda de solo em kg ha^{-1}; H é o escoamento superficial em mm; **a** e **b** são parâmetros referentes a cada encosta. A equação 26 é obtida fazendo-se log (P.S) = Y; log(a) = A; e log(H) = X.

$$P.S = a.H^{b} \tag{24}$$

$$\log(P.S) = \log(a) + b.\log H \tag{25}$$

$$Y = a + bX \tag{26}$$

3.13.2 Método 2 – EUPS*SDR

Pelo fato da EUPS ter sido desenvolvida para lotes experimentais (lote padrão: 3,5 m de largura por 22,1 m de comprimento com 9% de declividade), ela não leva em consideração as deposições que ocorrem ao longo da topografia como, por exemplo, em zonas de depressões o que restringe sua utilização em áreas maiores. No sentido de se obter melhor acurácia em relação aos valores encontrados para a produção de sedimentos em bacias hidrográficas a partir da EUPS, pesquisadores passaram a incorporar ao método a razão de aporte de sedimento (SDR), comumente usada nos estudos de erosão e transporte de sedimento para descrever a extensão na qual o solo erodido (sedimento) é depositado dentro da bacia (WALLING, 1983; KHANBILVARDI; ROGOWSKI, 1984; ARAÚJO, 2003; FARIAS *et al.* 2007; MEDEIROS; ARAÚJO; BRONSTERT, 2009). Para utilização do método, necessita-se dos parâmetros C e SDR, pois variam espaço-temporalmente. Conforme Bertoni e Lombardi Neto (1990), a proteção oferecida pelo fator C durante o ciclo vegetativo é gradual e combinada com os dados relativos às chuvas. Já Vestena (2008) aponta que a SDR varia de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica como a diversidade topográfica, uso da terra e condições de uso do solo. Araújo (2007) também avalia a SDR como um fator variável temporal e espacial. Por aparecerem multiplicados no método, os parâmetros C e SDR poderão se calibrados e avaliados conjuntamente (SDR*C). A erosividade (R) de cada evento foi determinada pelo método proposto anteriormente já descrito.

O procedimento para estimativa da perda de solo anual sucedeu-se de acordo com os seguintes passos:

1° - Obtenção da razão entre a perda de solo localizada (M_L) e o fator C, equação 27.

$$\frac{M_L}{C} = R.K.L.S.P.A = R \cdot \Gamma; \quad \Gamma = K.L.S.P.A \tag{27}$$

2° - Obtenção do valor de (SDR*C) para cada evento.

Como o SDR é a razão entre a massa de sedimento que deixa a encosta (P.S) e a massa de sedimento localmente erodida (M_L), a equação 28 pode ser escrita como:

$$P.S = R.\Gamma.C.SDR \tag{28}$$

Observe que Γ é fixo para cada encosta. Como R e P.S são valores conhecidos para vários eventos, o valor de SDR*C pode ser facilmente calculado.

3º - Avaliação de SDR*C para os eventos cujos dados foram perdidos.

Partindo do pressuposto que SDR*C está diretamente relacionado ao escoamento superficial registrado nas duas encostas, buscou-se uma equação que representasse esta relação: a curva-chave para obtenção de SDR*C como função do escoamento superficial.

4º - Determinação da perda de solo anual

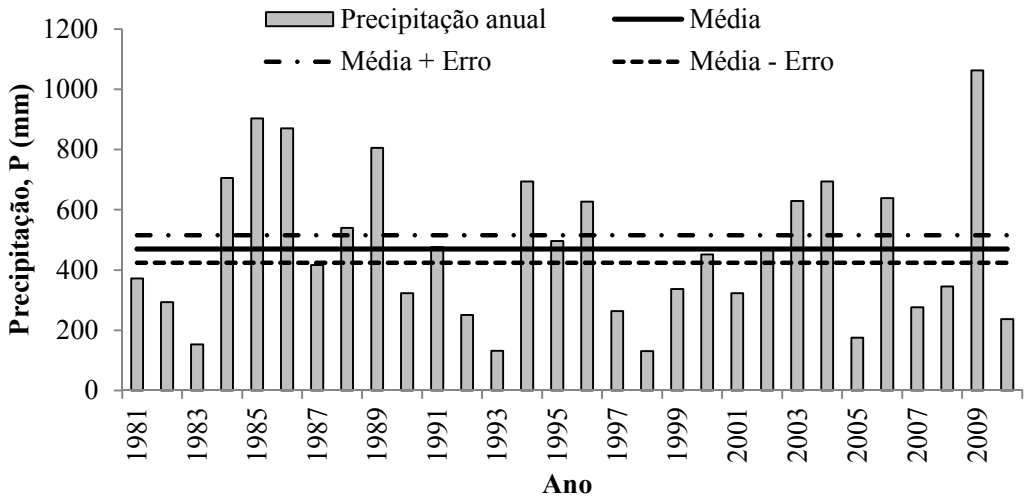
A perda de solo anual foi determinada pelo somatório da perda de solo de todos os eventos ocorridos, tanto aqueles medidos diretamente quanto aqueles obtidos através de método auxiliar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação

A Figura 7 apresenta a o registro pluviométrico do posto da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) instalado nas coordenadas Leste 416.717; Norte 9.587.310 UTM – Sad69 no município de Irauçuba, estando a 5,5 km de distância em linha reta da área de estudo. Pode-se perceber que, dos trinta anos de dados observados, metade dos anos apresentou pluviometria abaixo da média menos o erro padrão[3] e apenas 37% dos anos encontraram-se acima da média mais o erro padrão. Esses resultados demonstram uma tendência de maior probabilidade de ocorrência de ano com pluviometria abaixo da média. Observa-se também que, para a região de Irauçuba, Sales (2003) e Nolêto (2005) apontaram que o número de meses secos (período pelo qual o valor da evapotranspiração real é superior à pluviometria) durante o ano é, em média, superior a dez meses, com moda de doze meses secos, o que demonstra a extrema aridez a que essa região está submetida. Os mesmos autores determinaram ainda que a pluviometria anual possuiu coeficiente de variação superior a 45%, com índice de aridez (P/ETP) de 33%, caracterizando o clima da região como semiárido.

Figura 7 – Precipitação anual, precipitação média anual e erro médio do posto pluviométrico da FUNCEME no município de Irauçuba – Ce, no período de 1981 a 2010.



[3] É medida da precisão da média amostral calculada. O erro padrão obtém-se dividindo o desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho da amostra.

No período estudado (16 meses: ano completo de 2010 e de 01 de janeiro a 15 de abril 2011) foram registrados 55 (cinquenta e cinco) eventos de precipitação, sendo 25 no ano de 2010 e 30 no período de 2011. O Anexo A apresenta os dados detalhados de todos os eventos registrados. A maior precipitação diária registrada no período foi de 46,2 mm (14 de abril de 2011), a menor precipitação foi 0,2 mm (09 de janeiro de 2010). Dos eventos, 21 geraram escoamento superficial em pelo menos uma das duas encostas, seis deles no ano de 2010 e os demais no período correspondente ao ano de 2011. Foram objeto de análise e comparação entre as duas encostas 14 eventos para perdas de solo e 15 eventos para o escoamento superficial. Entre os eventos para os quais há medidas diretas de escoamento e de perda de solo, o maior foi de 32,5 mm, pois os dados referentes aos eventos de maior intensidade foram perdidos devido ao extravasamento das caixas coletoras ou devido à ruptura do sistema, com a elevação das caixas (Figura 8).

Figura 8 – Vista das caixas coletoras da encosta degradada após ruptura por ocasião da chuva (a) reinstalação das caixas coletores devido a quebra pelos eventos ocorridos no dia 02 e 05 de abril de 2010; (b) caixa coletora quebrada devido ao escoamento ocorrido no dia 25 de janeiro de 2011. Sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce.

(a) (b)

Foi realizada análise estatística a fim de se avaliar se há alguma diferença significativa entre as precipitações registradas nos pluviômetros instalados nas duas encostas. Os resultados apresentados na Tabela 10 demonstram que as precipitações nas duas encostas não são significativamente iguais ao nível de significância (α) de 5%, embora o teste F tenha superado o limite por apenas 0,1 ponto percentual. Esse resultado evidência a alta variabilidade espacial das chuvas nas regiões semiáridas, pois os pluviômetros foram idênticos (*Ville de Paris*) e operados pela mesma pessoa, além de terem sido instalados a apenas 200 m de distância um do outro.

Tabela 10 – Análise comparativa da precipitação da encosta em pousio e da encosta degradada e o nível de significância entre as chuvas registradas nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba – Ce em 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Precipitação (mm)	Pousio (EI)	Degradada (EII)
Total em 2010	264,1	263,4
Total em 2011	450.5	440,7
Máxima	46,2	45,1
Mínima	0,3	0,2
Média por evento	12,8	12,6
Desvio padrão por evento	11,3	11,2
Teste F (α) para séries de todos os eventos em EI e EII	0,9485	

Buscou-se, com base nos 55 eventos registrados, determinar os limites pluviométricos capazes de gerar o início do escoamento superficial. A menor precipitação observada capaz de iniciar o processo de escoamento foi a ocorrida no dia 25 de fevereiro de 2011: o valor registrado no pluviômetro na EI foi de 8,6 mm, enquanto que na EII foi de 7,2 mm. Esse foi o único evento inferior a 10 mm que proporcionou escoamento em ambas as encostas. As informações sobre a intensidade desse evento não foi obtida devido à falha de registro no Pluviômetro de Báscula. O motivo ao qual se atribuiu a ocorrência de escoamento com tão baixo índice pluviométrico é a elevada umidade antecedente do solo: o valor acumulado de chuvas nos cinco dias anteriores foi de 30,2 e 28,4 mm nas encostas EI e EII, respectivamente. Uma comprovação de que o solo estava úmido nesses cinco dias é que, no período, a lâmina escoada nas encostas EI e EII foi de 0,19 e 0,79 mm, respectivamente. Figueiredo (2011), estudando uma pequena bacia semiárida, concluiu que não é possível avaliar se haverá ou não escoamento baseando-se apenas na pluviometria total de um evento. O mesmo autor conseguiu explicar no máximo 51% do escoamento gerado pela bacia de estudo quando levou em conta a umidade, a distribuição temporal da precipitação e a intensidade em sessenta minutos (I_{60}). No estudo *op. cit.* concluiu-se que, para a bacia em foco, o melhor parâmetro capaz de explicar se um evento gerará ou não escoamento é a distribuição temporal da precipitação.

Já a precipitação máxima incapaz de iniciar o escoamento foi observada nos dias 19 e 26 de janeiro de 2010 com 17 mm na EII. Na EI não foi possível determinar precisamente esse limite, devendo este também está próximo a 17 mm, pois a precipitação registrada por duas vezes (dias 19 e 26 de janeiro de 2010) foi de 16 mm, sendo o volume real coletado (descontados o volume escoado da área impermeável) nos dois eventos foram apenas 4,6 litros. Isso corresponderia à lâmina de 0,013 mm, valor desprezível. Esse volume coletado

pode, inclusive, ter sido gerado por pequena área descoberta como mostra a Figura 9 que se encontra entre a posição da *Calha Parshall* e a delimitação da encosta em pousio (EI).

Figura 9 – Área descoberta no contorno da encosta em pousio (EI), conforme indicação da seta. A área, que se encontra entre a *exclusão* e a mureta de delimitação da encosta, é a provável responsável pelo registro de escoamento (desprezível) nos eventos de 16 mm dos dias 19 e 26 de janeiro de 2010.

A partir do exposto acima, conclui-se que a precipitação mínima necessária para iniciar o escoamento superficial nas encostas monitoradas é pouco inferior a 9 mm. Figueiredo (2011) concluiu que, na bacia experimental de Aiuaba, Ce, nenhuma precipitação inferior a 11,5 mm foi capaz de gerar escoamento. Observa-se a proximidade dos valores limites, embora haja diferenças geológicas e de cobertura vegetal significativa entre as duas áreas. Cánton *et al.* (2001), estudando microbacias em sistemas de *badlands* no sudeste semiárido da Espanha, observaram esse limite como sendo 3,5 mm. Srinivasan; Santos; Galvão (2003) ao estudarem quatro microbacia com declividade entre 6 e 7%, sendo duas com Caatinga nativa (0,62 e 1,07 ha) e duas desmatadas (0,52 e 0,48 ha), no período de 1982 a 1991 e 1996 a 1997, observaram que uma precipitação de até 5 mm pode gerar escoamento superficial, dependendo da umidade antecedente na microbacias desmatadas. A ocorrência de escoamento ou não para chuvas acima desses limites dependerá dos condicionantes geológicos (ARAÚJO; PIEDRA, 2009); das condições de campo (como umidade do solo e cobertura vegetal); além das características intrínsecas do evento (como, por exemplo, intensidade para duração igual ao tempo de concentração da bacia (FIGUEIREDO, 2011). Esperava-se que o limite mínimo de precipitação capaz de gerar escoamento fosse superior na encosta em pousio, pois a mesma apresenta maior cobertura vegetal (viva e morta, como

serrapilheira[4]) e um solo em recuperação (SOUSA, 2009). Essa conjectura é partilhada por outros autores (CÁNTON *et al.* 2001; CRUZ, 2006; MORENO-DE LAS HERAS; MARTÍN; NICOLAU, 2009; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003), uma vez que a cobertura vegetal favorece o aumento da taxa de infiltração e a redução da velocidade de escoamento, contribuindo para que o escoamento só ocorra num limite superior ao da EII. De fato, o limite mínimo de precipitação capaz de gerar escoamento observado no âmbito desta dissertação foi maior para a encosta em pousio (8,6 mm) que para a encosta degradada (7,2 mm). Demonstrando o maior incremento da abstração inicial na encosta em pousio, ou seja, o crescimento da capacidade de retenção de umidade. Esse incremento ocorreu devido a interceptação vegetal, da serrapilheira e da camada superficial do solo que se encontra em melhores condições por causa dos dez anos da prática do pousio.

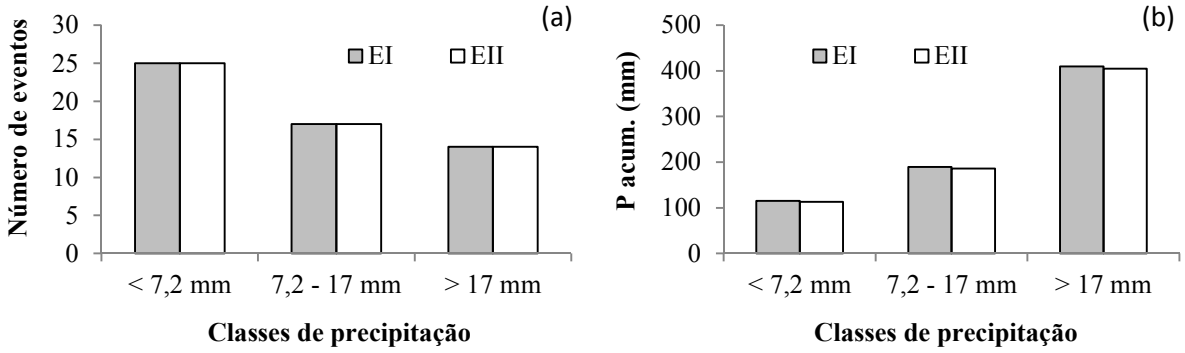
Outra discussão relevante diz respeito à maior precipitação incapaz de gerar escoamento superficial. Essa precipitação foi de 17 mm nas duas encostas monitoradas. A possível explicação para esse comportamento é que o parâmetro de maior influência nesse processo é a estrutura do solo. Apesar das diferenças na superfície do solo entre as duas áreas, promovida pelo acúmulo de serrapilheira nos dez anos de pousio, esse tempo de pousio ainda não foi capaz de alterar significativamente as propriedades físico-químicas do solo, conforme avaliou Sousa (2009). O autor *op cit.* estudou o efeito de áreas em sobrepastejo e áreas com sete anos exclusão de animais sobre as propriedades do solo no mesmo local desta pesquisa. Essa resposta do escoamento superficial está de acordo com as observações de Srinivasan; Santos; Galvão (2003). Os autores *op cit.* observaram que a influência da vegetação rasteira com cobertura morta é mínima em termos de escoamento, sendo sentidas somente nas menores chuvas, pois nas maiores chuvas as lâminas foram praticamente às mesmas da parcela desmatada. O valor avaliado por Cánton *et al.* (2001), de 14,2 mm, foi pouco inferior ao deste trabalho. Em contrapartida, Srinivasan; Santos; Galvão (2003) observaram que uma precipitação de até 30 mm não gerava escoamento superficial ao estudarem quatro microbacias com declividade entre 6 e 7%, sendo duas com Caatinga nativa (0,62 e 1,07 ha) e duas desmatadas (0,52 e 0,48 ha), no período de 1982 a 1991 e 1996 a 1997. Figueiredo (2011) observou, em cinco anos de medições que a maior precipitação incapaz de gerar escoamento foi de 43 mm, valor muito superior aos de Cánton *op cit.* e ao deste trabalho. A

[4] Serapilheira ou serrapilheira. Camada superficial de solo sob floresta, correspondente ao horizonte O dos solos minerais, consistindo de restos de vegetação como folhas, ramos, caules, cascas de frutos, em diferentes estágios de decomposição. (CURI, *et al.* 1993)

explicação de Figueiredo *op cit.* para tão elevado valor é a geologia local que tem elevada taxa de infiltração.

A distribuição do número de eventos e do volume precipitado, de acordo com os limites de precipitação acima definidos, estão apresentados na Figura 10. Nela observa-se que o número total de precipitações acima de 17 mm correspondeu a pouco mais de 22% nas duas encostas, enquanto seu volume acumulado ultrapassou os 52% do total precipitado nas duas áreas. Já o volume acumulado correspondente aos eventos de chuva incapazes de promover escoamento (menores de 7,2 mm) foi de apenas 16% do total precipitado no período, apesar de corresponder a quase metade de todos os eventos.

Figura 10 – Classificação da pluviometria registrada na encosta em pousio, EI e na encosta degrada, EII: (a) número de eventos por classe de chuva; (b) volume acumulado de chuva em classe de precipitação, no período de janeiro 2010 a 15 de abril de 2011, no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce.



4.2 Padrão hidrológico das chuvas

Com base nos registros do Pluviômetro de Báscula automático buscou-se identificar o padrão hidrológico das chuvas na região de estudo. Foram analisados três padrões de precipitação, como explicado anteriormente: avançado, intermediário e atrasado. Os resultados estão apresentados na Tabela 11. Devido a problemas na aquisição dos dados no Pluviômetro de Báscula automático, o padrão de chuva foi determinado com base em apenas dez dos 55 eventos (18%). Portando, devido ao pequeno número de dados disponíveis, não foi possível afirmar de modo conclusivo o comportamento padrão das chuvas da região. O resultado indica que 40% dos eventos analisados obtiveram padrão atrasado; 20% intermediário; 20% avançado; e 20% não apresentaram padrão determinado. Araújo e Piedra (2009), comparando duas bacias tropicais (uma semiárida no Ceará e uma úmida em Cuba)

concluíram que a bacia cearense tinha padrão de chuva no terceiro quartil, enquanto que a bacia cubana tinha como padrão o primeiro quartil. Esses resultados corroboram com o padrão avaliado nesta dissertação, com 40% das chuvas no último terço e com 70% das chuvas concentradas nos dois terços finais das chuvas. Mazurana *et al.* (2009), Carvalho *et al.* (2005) e Bazzano; Eltz; Cassol (2007) mediram, para a região centro-sul do país, padrão avançado (assim como em Cuba), diferentemente do observado no Ceará. Os referidos autores, que estudaram os municípios de Santa Rosa (RS), de Seropédica (RJ) e de Quaraí (RS), identificaram 52%, 65% e 51% das chuvas como de padrão avançado, respectivamente.

Eltz; Mehl; Reichert (2001) estudando parcelas experimentais por meio de chuvas simuladas, concluíram que precipitações com padrão atrasado promovem maior escoamento e maior perda de solo em relação aos demais padrões. Este resultado é confirmado por Carvalho *et al.* (2005), que estudaram as perdas de solo e água promovidas pelos diferentes padrões de chuva em parcelas experimentais em condições de chuvas naturais. Os autores *op cit.* concluíram que o padrão atrasado representou 14% da precipitação total, mas foi responsável por 25% do escoamento gerado e mais de 58% da perda total de solo. Os estudos de Carvalho *et al.* (2005) concordam com os de Eltz; Mehl; Reichert (2001): que a erosividade média necessária para promover um milímetro de escoamento é de 13; 17 e 3 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}mm^{-1}$de acordo com os padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. A partir dessas observações, sugere-se que os modelos de erosão considerem o padrão das chuvas na região: se avançado, intermediário ou atrasado.

Tabela 11 – Precipitação, duração e padrão das chuvas registradas pelo Pluviômetro de Báscula automático, no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – Ce, no período de abril de 2010 a abril de 2011

Data	P (mm)	Duração (h)	Padrão*
19/4/10	2,3	0,25	3
20/4/10	4,3	0,92	2
22/4/10	9,4	4,17	1
1/5/10	17,1	2,92	1
2/5/10	37,4	1,00	1 e 2
5/5/10	37,1	2,00	2 e 3
10/1/11	7,4	0,33	3
19/1/11	21,1	4,50	3
31/1/11	2,3	2,33	3
2/2/11	24,3	0,33	2

*1 – Avançado; 2 – Intermediário; 3 – Atrasado.

Por isso reitera-se a importância do conhecimento do comportamento da precipitação em uma região, pois chuvas de mesmo volume e intensidade, mas com padrões de chuva diferentes podem promover maior ou menor escoamento superficial e perda de solo.

4.3 Intensidade e erosividade das chuvas

Devido a problemas técnicos no pluviômetro automático no armazenamento de dados de intensidade de precipitação, só foi possível obter dados de intensidade a cada cinco minutos (I_5) em dez eventos, seis deles em 2010 e quatro em 2011. O cálculo da erosividade (R) da chuva foi determinado respeitando os limites definidos por Wischmeier (1959): seis dos dez eventos registrados satisfizeram essas condições (Tabela 12).

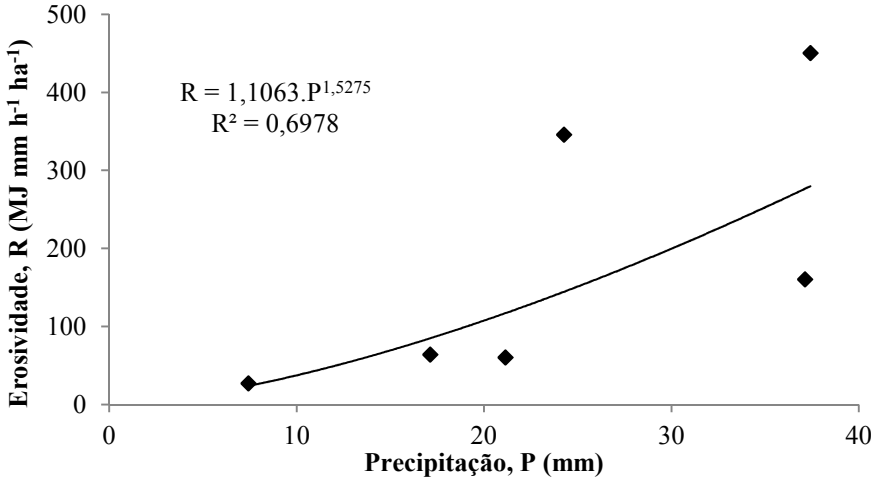
Tabela 12 – Erosividade, intensidades média e máximas nos intervalos de tempo de 5 e 30 minutos dos eventos registrados pelo Pluviômetro de Báscula automático, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, no período de abril de 2010 à abril de 2011

Data	Duração (h)	P (mm)	Intensidade (mm h^{-1})			R*
			$I_{média}$	I_5	I_{30}	
1/5/10	2,9	17,14	4,1	38,4	20,8	64,1
2/5/10	1,0	37,43	26,2	76,8	47,6	450,3
5/5/10	2,0	37,14	13,0	45,6	19,2	160,5
10/1/11	0,3	7,43	22,3	58,3	14,9	27,2
19/1/11	4,5	21,14	4,7	41,1	15,4	60,3
2/2/11	0,3	24,28	72,9	96,0	48,6	345,8

*R = Erosiviadade da chuva, MJ mm ha^{-1} h^{-1}.

Apesar do pequeno número de dados disponíveis, nota-se ao analisar a Tabela 12 o quanto é difícil tentar compreender o regime pluviométrico de regiões semiáridas, principal agente regulador do processo hidrológico. Por exemplo, os eventos dos dias 2 e 5 de maio de 2010 (que tiveram praticamente a mesma precipitação), registraram erosividade muito diferentes, com razão de quase três. Caso ainda mais notório observa-se nos eventos dos dias 2 de fevereiro e 19 de janeiro de 2011: apesar de possuírem praticamente a mesma lâmina precipitada, a razão entre suas erosividades é de quase seis. Essa independência da erosividade em relação ao total precipitado pode ser vista na Figura 11, corroborada pelo baixo coeficiente de correlação apresentado na mesma figura.

Figura 11 – Erosividade *versus* precipitação obtida em seis eventos, no sitio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, abril de 2010 a março de 2011.



A equação determinada a partir da relação entre a erosividade e a precipitação dos eventos (e apresentada na Figura 11) foi usada para determinar a erosividade dos demais eventos promovedores de escoamento superficial nas duas encostas estudadas, com os dados pluviométricos registrados pelos pluviômetros *Ville de Paris* instalados nas duas encostas. Os dados de erosividade foram utilizados na Equação Universal de Perda de Solo para estimar a perda de solo anual nas áreas de estudo. No período de estudo ocorreram 21 eventos erosivos[5], com seis eventos (149,0 mm) no ano de 2010 com erosividade de 965 MJ mm h^{-1} ha^{-1} e os demais eventos entre janeiro e abril de 2011 (345 mm) com erosividade de 2.326 MJ mm h^{-1} ha^{-1}. Estes valores de erosividade são classificados, segundo Carvalho (2008), como sendo baixos. No entanto, ao se comparar a relação entre a erosividade média produzida por milímetro de chuva, obteve-se um valor de 6,6 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro de chuva. Este valor está próximo ao avaliado por Mazurama *et al.* (2009). Os autores *op cit.* calcularam erosividade de 6,12 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro de chuva na região de Santa Rosa, RS com base em 28 anos de dados. O valor encontrado para Irauçuba, no entanto, supera em quase um terço os valores de Carvalho *et al.* (2005): 4,9 e 5,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro de chuva em Seropédica e Nova Friburgo no Rio de Janeiro, com base nos registros de 1974 a 1980. Segundo Santos (2009), a erosividade em Iguatu, centro-sul do Ceará, é de 5,4 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro de chuva. Esse valor foi confirmado por Wiegand; Lima; Araújo (2009), que calcularam para Aiuaba (também no centro-sul do Ceará) valor intermediário entre os do Rio de Janeiro e os de Irauçuba: 5,6 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro de chuva, com base em cinco anos de avaliação (2003 – 2007). Dias e Silva (2003),

[5] Eventos pluviométricos que geraram escoamento superficial e consequentemente perda de solo

em 20 anos de coleta de dados em Fortaleza, Ce, mediram valores inferiores a todos os demais: 4,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por milímetro. Os valores avaliados em Irauçuba somente foram superados por aqueles medidos por Albuquerque *et al.* (2002; 2005), para Sumé, PB: 7,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1} por cada milímetro com base em sete anos de registro.

4.4 Escoamento superficial

Foram 21 eventos (ou seja, 37,5% do total de eventos) que, no período de estudo, promoveram escoamento superficial em pelo menos uma das duas encostas. Deste total, somente 15 eventos puderam ter seus escoamentos comparados diretamente entre as duas encostas, devido a perdas na coleta. Tais perdas ocorreram principalmente para os maiores eventos (acima de 25 mm), com exceção de um evento de 32,5 mm, ocorrido no dia 4 de abril de 2010. A exceção deste evento se deve à pequena lâmina escoada nas duas encostas (apesar de se tratar de uma chuva de grande magnitude), não tendo deteriorado o sistema de coleta de dados. As lâminas pequenas (0,15 mm e 1,66 mm nas encostas EI e EII, respectivamente) deveram-se, possivelmente, ao grande período de estiagem (47 dias) que antecedeu esse evento, deixando o solo com baixo teor de água e permitindo boa infiltração. Uma explicação complementar para ocorrência de lâminas pequenas pode ser a baixa intensidade da chuva (não ocorreram de picos de alta intensidade durante a precipitação).

Do escoamento total captado nas duas encostas nos 16 meses de monitoramento, tem-se que: a menor lâmina escoada na encosta em pousio (EI) foi de 0,013 mm no dia 19 e 26 de janeiro de 2010; a maior lâmina escoada foi de 4,14 mm no dia 27 de fevereiro de 2011 e a lâmina total escoada foi 7,58 mm. Na encosta degradada (EII) a menor lâmina escoada foi de 0,007 mm no dia 26 de janeiro de 2010; a maior lâmina escoada foi de 6,65 mm no dia 27 de fevereiro de 2011 e a lâmina total escoada foi de 23,36 mm. Pelo registro do escoamento superficial apresentado avalia-se que o escoamento na EII foi cerca de três vezes superior ao escoamento na EI, ou seja, os dez anos da prática de pousio promoveram a redução de 60% no escoamento superficial, em relação à encosta degradada.

Gómez *et al.* (2004) estudaram o coeficiente de escoamento de diversos sistemas agrícolas num período de três anos, em um solo *vértico* no sul da Espanha, onde a precipitação média é de 665 mm anuais. Os autores *op cit.* observaram considerável redução

no coeficiente de escoamento (89%) no sistema de produção de olivas, mantido com cobertura do solo contínua por gramíneas, em relação ao sistema de plantio direto com capina com herbicidas. A redução promovida pelo sistema de cobertura contínua do solo, em relação ao sistema convencional com quatro capinas também foi relevante, porém inferior: 65%. Martins *et al.* (2003), ao estudarem as perdas de água em três tipos de solo sob diferentes coberturas vegetais (mata nativa, eucalipto e solo descoberto) em Aracruz – ES num período de quatro anos (1997 - 2000), mediram redução semelhante (67%). Carvalho *et al.* (2009) avaliaram que o cultivo de *crotalária* proporcionou maior cobertura do solo (86%), reduzindo também em 67% o escoamento em relação ao plantio de milho morro abaixo. Albuquerque *et al.* (2002) observaram reduções no escoamento superficial de 99% em uma parcela com Caatinga nativa em relação a uma parcela com solo descoberto, em Sumé –PB, no período de 1983 a 1990. Os valores encontrados na literatura acima referida corroboram com os resultados dessa pesquisa.

A razão entre o escoamento e a precipitação (coeficiente de escoamento superficial, ou de *runoff*, Cr) foi avaliada para os eventos que puderam ser medidos nas duas encostas. Foi realizada a análise estatística através do Teste F (α) entre Cr nas duas encostas. A Tabela 13 apresenta como resultado da do Teste F um α = 0,0269, ou seja, há uma probabilidade de 2,7% de que o Cr seja igual nas duas encostas. A referida tabela apresenta, ainda, os valores máximos, mínimos, média e desvio padrão de Cr para as duas encostas.

Tabela 13 – Parâmetros estatísticos do coeficiente de escoamento (Cr) e do potencial de arraste de sedimento (PAS) nas duas encostas de estudo, sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Parâmetros Estatísticos	Cr (%)		PAS (kg ha^{-1} mm^{-1})	
	EI	EII	EI	EII
Máximo	22,26	38,64	7,7	25,5
Mínimo	0,08	0,04	1,0	4,3
Média	2,7	6,9	2,7	10,6
[1]D.P	6	11	2,7	5,7
[2]C.V	209%	153%	100%	54%
Teste F (α) para séries de todos os eventos medidos em EI e EII	0,0269		0,0435	

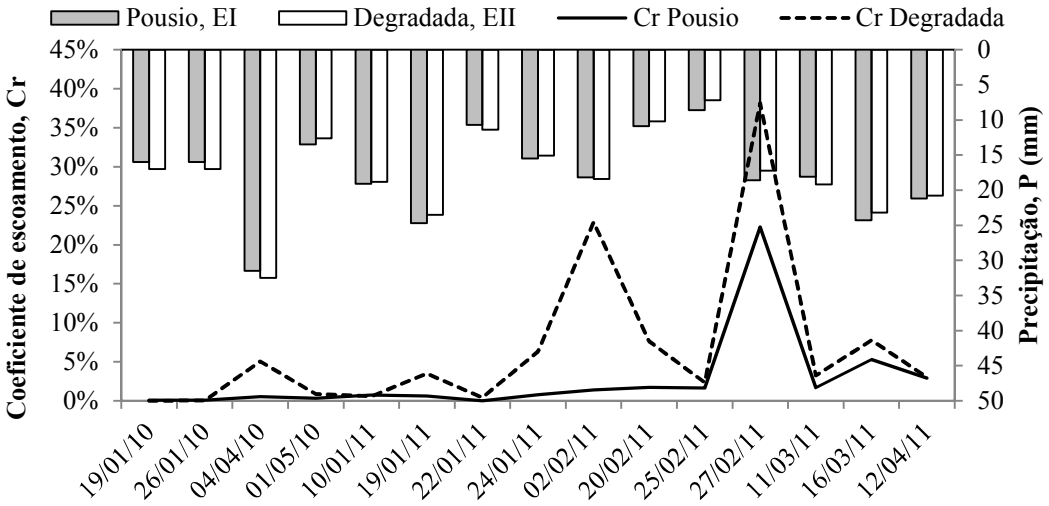
[1] D.P – desvio padrão da média; [2] C.V - coeficiente de variação.

Comparando duas microbacias de Caatinga preservada com duas microbacias degradadas, Srinivasan; Santos; Galvão (2003) constataram maior dispersão na relação entre escoamento superficial e precipitação para os dados das áreas degradadas. Esse

comportamento assemelha-se ao observado no presente estudo. Uma possível explicação é a cobertura vegetal que promove maior estabilidade nos processos hidrológicos, deixando a área menos vulnerável a variações. Michaelides *et al.* (2009) estudaram as relações entre o tipo de cobertura vegetal, as propriedades físicas do solo, a estabilidade dos agregados e o relevo em parcelas com chuvas simuladas no deserto de Chihuahuan nos Estados Unidos. Os autores *op cit.* concluíram que a vegetação fornece um controle de primeira ordem sobre o escoamento superficial e a produção de sedimentos. Tal controle, no entanto, depende das características da própria cobertura vegetal.

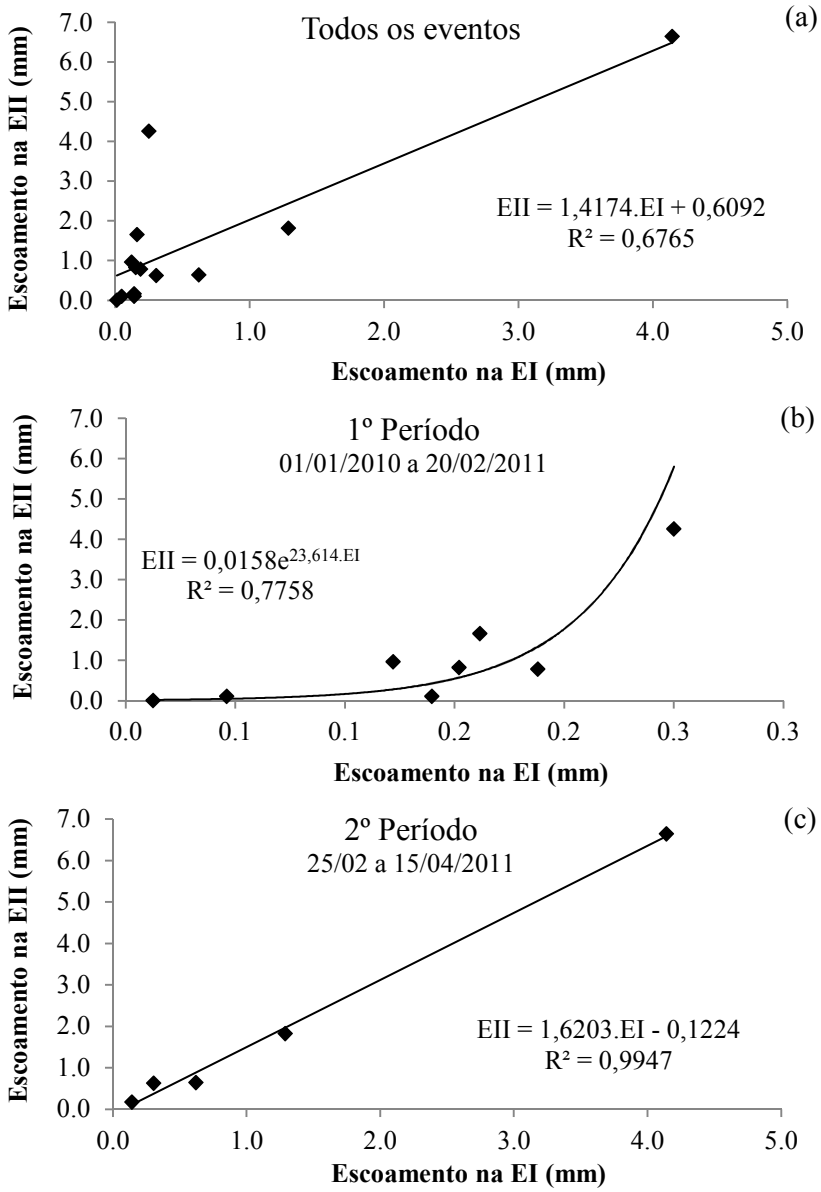
Dos eventos analisados, somente dois deles (26 de janeiro de 2010 e 10 de janeiro de 2011) ocorreu do escoamento na EI ser superior ao da EII. A possível explicação para tal comportamento foram as pequenas lâminas registradas nos dois eventos (0,013 mm e 0,14 mm) que poderiam ter ampliado a possibilidade de erro. Isso é explicado pelo fato de que em pequenos eventos, do volume total captado pelas caixas, o volume descontado (volume gerado da parte impermeabilizada presente nas duas encostas, estimado por meio da equação 4) chega a representar mais de 50% do volume total. Para eventos com escoamentos maiores o volume descontado, passa a ser desprezível. Suspeita-se ainda a de que essa pequena lâmina tenha sido gerada em uma área totalmente desprotegida na EI (Figura 9) não computada na equação 4. Aliado ao que foi exposto acima, se tem a alta variabilidade espacial das chuvas na região, como apresentado no item 4.1 que trata da precipitação. No qual se observou diferença significativa (α 5%) de que as chuvas registradas nos dois pluviômetros instalados nas encostas não são iguais.

Figura 12 – Coeficiente de escoamento superficial de 15 dos 21 eventos registrados na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) e sua pluviometria, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011.



Observa-se, tanto na Tabela 13 como na Figura 12, que o Cr na EII foi superior ao registrado na EI. No entanto, a Figura 12, apresenta uma mudança na relação do Cr entre as duas encostas, a partir do dia 20 de fevereiro de 2011. No primeiro período (ano de 2010 mais o período até 20 de fevereiro de 2011) as relações do Cr entre as encostas demonstraram comportamentos bem distintos. Já no segundo período (final do período de 2011) as relações do Cr entre as duas encostas apresentaram comportamentos semelhantes. A fim de verificar essa suspeita foi realizada análise comparativa da relação do escoamento superficial entre as duas encostas (Figura 13).

Figura 13 – Relação e correlação (R^2) entre o escoamento superficial na encosta em pousio (EI) *versus* a encosta degradada (EII): (a) análise dos 15 eventos medidos no período de estudo; (b) primeiro período entre 01 de janeiro de 2010 e o dia 20 de fevereiro de 2011; e (c) segundo período do dia 25 de fevereiro de 2011 ao dia 15 de abril de 2011.



O limite da separação dos períodos apresentados na Figura 13 ocorreu juntamente com o surgimento da cobertura vegetal em ambas as áreas. A partir da separação dos eventos em dois períodos, houve melhora na resposta da relação do escoamento superficial entre as duas encostas. Para identificar as causas dessa mudança na relação do Cr entre as encostas, teve-se que caracterizar as condições em que as encostas se encontravam em cada período. Na primeira parte, devido a pouca chuva e sua má distribuição, o período foi caracterizado como seco, não havendo desenvolvimento da cobertura vegetal e solo com alto déficit hídrico. Na segunda parte, devido ao acumulado de chuva no início do ano (170 mm) e sua boa distribuição, esse período foi caracterizado como úmido, apresentando cobertura vegetal nas duas áreas e o solo com alta umidade, mantendo-se sempre próximo a sua capacidade armazenamento.

No primeiro período (Figura 13b), a relação do escoamento superficial entre as duas encostas ocorreu de maneira exponencial. Comportamento este observado por Moreno-de Las Heras; Martín e Nicolau (2009) e Freitas *et al.* (2008) que concluíram em seus trabalhos que o escoamento superficial diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura vegetal. Essa redução do escoamento de forma exponencial deve-se, principalmente, às melhores condições de solo e cobertura vegetal na encosta em pousio em relação à encosta degradada. A melhoria desses fatores ocorreu graças aos dez anos de pousio (SALES, 2003; SALES; OLIVEIRA, 2006; SOUSA, 2009), promovendo a manutenção e o aumento da cobertura do solo. Essa cobertura do solo promove: a redução da densidade do solo, aumento da porosidade total (CASTELLANO; VALONE, 2007; HUANG; WANG; WU, 2007), mais tempo para iniciar o escoamento e sua estabilização, aumento na profundidade da frente de umedecimento (MORENO-DE LAS HERAS; MARTÍN; NICOLAU, 2009; INÁCIO *et al.* 2005), proteção ao impacto direto das gotas de chuva que podem causar o selamento superficial e o encrostamento do solo (INÁCIO *et al.* 2005; ONDA *et al.* 2007), além da redução da temperatura do solo e aumento do teor de água (BHATT; KHERA, 2006) que contribui, ao passo do tempo, na melhoria da estrutura do solo e no incremento de matéria orgânica no solo. Todos esses fatores contribuem em maior ou menor intensidade para a redução do escoamento superficial na EI.

No período úmido, a relação do escoamento superficial entre duas encostas ocorreu de forma linear (Figura 13c). Essa relação do escoamento superficial entre as encostas deve-se principalmente à presença da serrapilheira e do maior estrato da vegetação na encosta em pousio. Uma das conjecturas que pode ser aponta quanto isso é a atenuação do efeito dos

demais fatores (solo e cobertura vegetal) sobre o escoamento superficial na encosta degradada. O solo ao encontrar-se com alto teor de água nas duas encostas reduz significativamente a influência desse fator sobre a relação do escoamento superficial entre as mesmas. A redução ocorre devido à eliminação do efeito da maior capacidade de armazenamento do aumento da velocidade de infiltração inicial, já que no estado de saturação passa a atuar a velocidade básica de infiltração que possui valores praticamente iguais nas duas encostas (Figura 14). A partir do desenvolvimento da cobertura vegetal na encosta degradada elimina a ação de alguns fatores (impacto direto das gotas de chuva) e em outros reduz seus efeitos (velocidade de escoamento) sobre a relação do escoamento superficial entre as encostas. As modificações promovidas no regime de escoamento superficial foram mais acentuadas na encosta degradada, devido à encosta em pousio já apresentar desde o primeiro período, a serrapilheira. O maior estrato da cobertura do solo na encosta EI, aumenta as perdas inicias contribuindo para essa diferenciação do H nas duas encostas. Nesse contexto, os fatores de maior grau de diferenciação entre as encostas é a presença da serrapilheira e do maior estrato da cobertura vegetal na EI.

Portanto, baseado na relação da Figura 13c e no que foi exposto, pode-se apontar que a serrapilheira acumulada nos dez anos de pousio e o estrato da vegetação apresentam taxa de redução de 1,6 no escoamento de EI em relação ao escoamento registrado na EII. Esse resultado não pode ser conclusivo, pois a umidade não foi monitorada nas duas encostas durante o período de estudo, mas com base nas observações de campo, pelo monitoramento pluviométrico e o acompanhamento da cobertura vegetal, foi possível levantar essa hipótese.

Figura 14 – Umidade do solo e cobertura vegetal: (a) área em pousio no dia 27 de fevereiro de 2011, com destaque a retenção de água na camada superficial do solo promovida pela camada de impedimento logo abaixo; (b) área em degradação no dia 28 de abril de 2011, destaque para o solo com alta umidade e acúmulo de água na camada de dez a quinze centímetros, também promovidos pela camada de impedimento.

(a)

(b)

4.5 Concentração de sedimentos

Os resultados da concentração de sedimentos (Cs) nos 14 eventos possíveis de comparação estão apresentados resumidamente na Tabela 14. Os valores apresentados na referida tabela mostram que a encosta em pousio reduziu em 1/3 a Cs em relação à encosta degradada. A análise estatística demonstrou que a concentração de sedimentos (Cs) observada nas duas encostas foi significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 14). Em apenas um evento, a Cs foi maior na EI (26 de janeiro de 2010), cujo escoamento foi desprezível (0,013 mm). Esse resultado pode ter sido ocasionado por algum fator externo ao escoamento, como a contaminação da água coletada no tanque de captação por alguma porção de solo externo ao tanque.

Tabela 14 – Resumo dos resultados sobre a concentração de sedimentos e nível de significância do Teste F para as duas encostas em estudo, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Parâmetros	EI	EII
Máximo (mg L^{-1})	1613,0	2554,5
Mínimo (mg L^{-1})	471,0	432,0
Média (mg L^{-1})	734,1	1058,0
D. P (mg L^{-1})	293,2	566,5
C. V (%)	40	54
Teste F (α) para séries de todos os eventos medidos em EI e EII	0,0306	

A menor concentração de sedimentos obtida em EI deveu-se a prática de pousio que promove a manutenção e o aumento da vegetação e da serrapilheira sobre o solo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Schick *et al.* (2000) observaram que os sistemas conservacionistas reduzem a concentração de sedimentos, atribuindo ao efeito do aumento da cobertura do solo com resíduos vegetais. Freitas *et al.* (2008) observaram que as maiores coberturas vegetais proporcionadas pela Caatinga e pelo feijão-guandu, corresponderam as menores taxas de concentração de sedimentos e desagregação do solo e da erosão entre sulcos, em decorrência da maior rugosidade hidráulica na superfície do solo promovida pelas duas culturas. Resposta também compartilhada por Inácio *et al.* (2005) em observação a concentração de sedimentos numa área de cultivo de cacau, mantida com e sem cobertura do solo. Carvalho *et al.* (2002) acrescentam que a pequena movimentação mecânica do solo minimiza o impacto das gotas, diminuindo a desagregação do solo e, consequentemente, a

concentração de sedimentos na enxurrada. Inácio *et al.* (2007) analisaram o efeito topográfico na concentração de sedimento sob diferentes declividades, mantidos com e sem cobertura vegetal formada por pastagem. Os autores *op cit*. observaram uma menor concentração de sedimentos nos menores declives, quando comparada dentro de cada tratamento (tipo de cobertura do solo). Já na comparação entre as coberturas vegetais, a maior Cs foi observada no solo descoberto.

Rodrigues (2009) em seus estudos observou limites maiores entre Cs máxima e mínima (5.489 a 158 mg L^{-1}), em duas microbacias semiáridas sob Caatinga nativa com declividade média de 10%. Essa maior amplitude dos valores observados pelo autor *op cit.* em relação aos resultados observados na Tabela 14 pode ser justificada pela pequena declividade das encostas estudadas (2,9 e 3,4% na EI e EII, respectivamente) como observado por Inácio *et al.* (2007).

Inácio *et al.* (2005) obtiveram Cs de 200 mg L^{-1} mantendo a cobertura morta e Cs de 2100 mg L^{-1} retirando-se a cobertura morta num Nitossolo Háplico com declive de 20%. Inácio *et al.* (2007) observaram que a Cs num Chernossolo Argilúvico Órtico típico com declive < 9% foi de 335 mg L^{-1} e de 2840 mg L^{-1} mantido sob pastagem e sem cobertura, respectivamente. Esses valores estão próximos aos observados na EI e na EII, respectivamente.

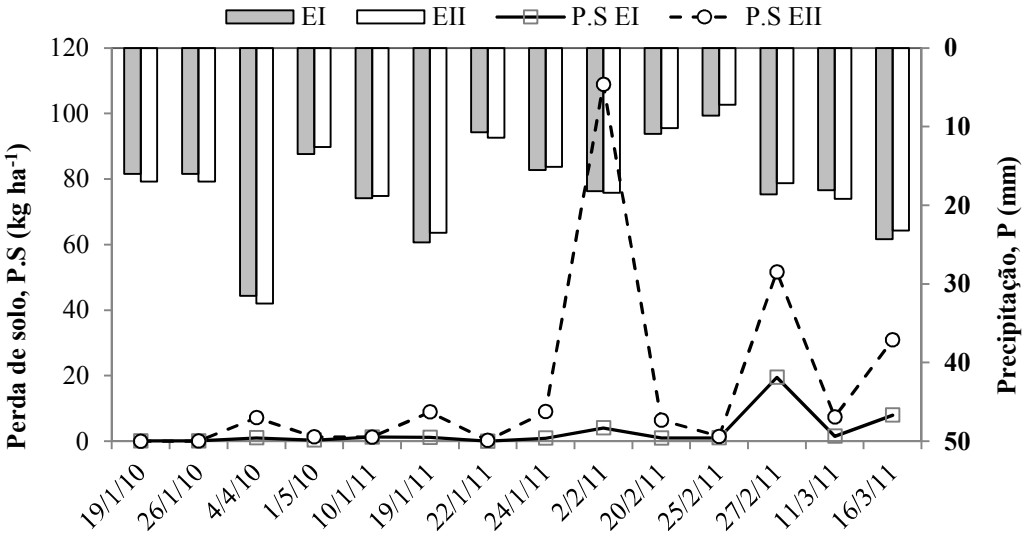
4.6 Perdas de solo

Foram 21 eventos (37,5% do total de eventos) que, no período de estudo, promoveram escoamento superficial e consequentemente perda de solo em pelo menos uma das duas encostas. Desse total, somente 14 eventos puderam ter suas perdas comparadas diretamente entre as duas encostas, devido às perdas na coleta (já esclarecidas no item 4.4).

Da perda de solo (P.S) total captada nas duas encostas, nos 16 meses de monitoramento, tem-se que: o menor valor na encosta em pousio (EI) foi de 0,07 kg ha^{-1} no dia 19 de janeiro de 2010; o maior foi de 19,5 kg ha^{-1} no dia 27 de fevereiro de 2011 e a P.S total foi 39,9 kg ha^{-1} nos 14 eventos monitorados. Na encosta degradada (EII) a menor perda de solo foi de 0,04 kg ha^{-1} no dia 26 de janeiro de 2010; a maior P.S foi de 107,6 kg ha^{-1} no dia 2 de fevereiro de 2011 e a P.S total foi de 232,0 kg ha^{-1} nos 14 eventos comparados. Pelo

registro da P.S apresentado avalia-se que a perda na EII foi cerca de seis vezes superior à perda na EI, ou seja, os dez anos de prática de pousio promoveram a redução de 83% na P.S em relação à encosta degradada (EII). Os dois maiores eventos de P.S registrados (dias 2 de fevereiro e 27 de fevereiro de 2011) tem suas características descriminadas na Tabela 20.

Figura 15 – Perda de solo em 14 dos 21 eventos registrados nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011.



Srinivasan; Santos; Galvão (2003) estudaram a perda de solo em uma parcela em pousio há seis anos e observaram que a mesma apresentou valores de escoamento e erosão bem próximos à parcela com Caatinga nativa. Albuquerque *et al.* (2002) observaram que as parcelas com cobertura de Caatinga nativa e com cobertura morta reduziram em 99 e 74% a perda de solo em relação a parcela desmatada. Onda *et al.* (2007) estudaram as encostas de duas bacias hidrográficas no semiárido da Mongólia para avaliar o efeito da cobertura vegetal e do pastejo de animais sobre a perda de solo. Os autores *op cit.* observaram que nas áreas mantidas com maior cobertura (70%) reduziram as perdas de solo em mais de 90% em relação às áreas de menor cobertura (30%). Esses resultados corroboram com os valores obtidos nesse estudo.

Bhatt e Khera (2006) estudaram entre outros fatores a perda de solo em parcelas, promovido por dois tipos de preparo do solo (cultivo mínimo e convencional) com aplicação de diferentes proporções e formas de *mulch*[6] submetidas a chuvas simuladas. Os autores *op cit.* observaram que as parcelas com preparo mínimo e aplicação uniforme de *mulch* reduziu

[6] Qualquer material tal como palha, folhas, serragem, solo solto, plástico, etc., que é espalhado à superfície do terreno, com a finalidade de proteger o solo e as raízes das plantas dos impactos diretos das gotas de chuva e raios do sol, evitando o encrostamento do solo, congelamento, evaporação, etc. (CURI, *et al.* 1993)

em 87% e 91% a perda de solo em relação a parcela com preparo mínimo e a parcela convencional, respectivamente com solo descoberto. Esse resultado demonstra a importância da presença da serrapilheira na encosta em pousio.

4.7 Potencial de arraste de sedimento

Nos resultados apresentados na Tabela 13 todos os parâmetros estatísticos indicam que a encosta degradada (média de 10,6 kg ha^{-1} mm^{-1}) possui maior potencial de arraste de sedimento (PAS) que a encosta em pousio (média de 2,7 kg ha^{-1} mm^{-1}). O período de dez anos de pousio proporcionou redução 3/4 do PAS em relação à encosta degradada. O Teste F indicou que as encostas possuem valores de PAS estatisticamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade com $\alpha = 0,0435$.

Martins *et al.* (2003), ao calcularem o PAS para três tipos de solo (Argissolo Amarelo textura média/argilosa; Plintossolo Háplico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso) e três coberturas vegetais (mata nativa; eucalipto e desmatado) em Aracruz – ES, num período de quatro anos (1997 – 2000), observaram valores de PAS de 4, 19 e 34 kg ha^{-1} mm^{-1} para o Argissolo Amarelo textura média/argilosa; 3, 33 e 41 kg ha^{-1} mm^{-1} para o Plintossolo Háplico; e 8, 33 e 101 kg ha^{-1} mm^{-1} para o Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, com as coberturas de mata nativa, eucalipto e desmatada, respectivamente. Os baixos valores de PAS obtidos na cobertura de mata nativa (3 – 8 kg ha^{-1} mm^{-1}) foram atribuídos principalmente à interceptação das gotas pela copa das árvores e à barreira física formada pela serrapilheira.

Silva *et al.* (2005) estudaram as perdas em dois tipos de solos (Cambissolo Háplico Tb distrófico típico – CXbd e Latossolo Vermelho distroférrico típico – LVdf), mantidos sem cobertura e sob chuva natural, em Lavras, MG num período de cinco anos (1998 – 2002). Os autores *op cit.* observaram que os valores de PAS foram em média cinco vezes maior para o CXbd (média de 570 kg ha^{-1} mm^{-1}) em relação ao LVdf (média de 100 kg ha^{-1} mm^{-1}), concluindo que os resultados estavam de acordo com os valores de permeabilidade cinco vezes maior para o Latossolo Vermelho (LVdf).

Silva (2006), no município de São João Del Rei-MG, estudou a perda de solo e água em cinco parcelas com quatro tipos de cobertura (plantação degradada de eucalipto,

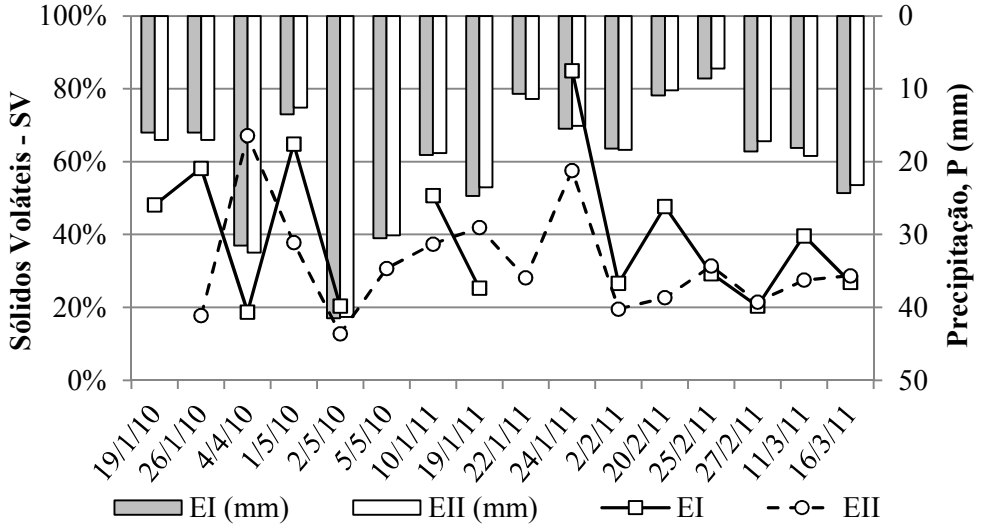
pastagem, pastagem degradada e solo descoberto), três tipos de solo (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd; Cambissolo distrófico - Cd e Latossolo Vermelho Distrófico típico - LEd) e três declives (10, 13 e 15%) entre dezembro de 2004 e junho de 2005. Os resultados obtidos pelo autor *op cit.* demonstraram que, apesar das perdas de solo terem sido praticamente iguais nas parcelas com pastagem, eucalipto e solo descoberto (entre 1,14 e 1,16 Mg ha^{-1}), o valor de PAS foi de 11, 22 e 22 kg ha^{-1} mm^{-1}, respectivamente. A igualdade no PAS apresentada anteriormente entre o eucalipto e o solo descoberto deve-se à maior erodibilidade do solo LVAd (eucalipto) em relação ao LEd (solo descoberto). Que para esse mesmo estudo quando o solo LEd foi submetido a cobertura com pastagem observou-se o menor valor de PAS 9 kg ha^{-1} mm^{-1}. Os maiores valores de perda de solo e PAS obtido pelo autor *op cit.* foi de 1,9 Mg ha^{-1} e 23,5 kg ha^{-1} mm^{-1}, respectivamente na área de pastagem degradada sob um Cambissolo distrófico. Zhou *et al.* (2002) ao estudarem os impactos hidrológicos promovidos pelo reflorestamento com eucalipto e espécies indígenas no sudeste da China, registraram valores da ordem de 0,3; 9,0; e 44,0 kg ha^{-1} mm^{-1}, para reflorestamento misto, eucalipto e solo descoberto, respectivamente. Carvalho *et al.* (2007) estudaram as perdas de solo e água em diferentes sistemas de cultivo de café e observaram que os valores de PAS foram praticamente iguais para os sistemas de manejo do cafeeiro (7,2 kg ha^{-1} mm^{-1}) e bem maiores (225 kg ha^{-1} mm^{-1}) para solo descoberto. Santos (2009) observou que o PAS foi de 7,6 kg ha^{-1} mm^{-1} numa parcela experimental com 9,8% de declividade, sob vegetação herbácea (100% de cobertura vegetal no final da pesquisa) em Iguatu – Ce.

De acordo com o acima exposto se conclui que a cobertura do solo tem maior importância sobre PAS do que a classe de solo. Sendo que a cobertura do solo minimiza os efeitos da maior erodibilidade dos solos (MARTINS *et al.* 2003). O baixo valor médio de PAS observados no presente estudo, principalmente na EII se deve possivelmente a dois fatores: suavidade do relevo nas duas encostas; e à falta dos registros de escoamento e perda de solo nos maiores eventos de chuva. Srinivasan; Santos; Galvão (2003) observaram que a cobertura morta tem pouca influência sobre o escoamento superficial nos grandes eventos, mas em termos de erosão notou-se grande diferença. Portanto, as perdas de dados em grandes eventos (2 de maio de 2010; 5 de maio de 2010; 25 de janeiro de 2011), quando a EII encontrava-se com pouca cobertura vegetal, podem ter contribuído para que seu valor de PAS fosse menor.

4.8 Análise dos sedimentos

Os sedimentos coletados nas duas encostas monitoradas foram classificados em sólidos voláteis – SV (que representam o material orgânico total) e sólidos fixos – SF (representam o material mineral). A porcentagem dos sólidos voláteis presentes nos sedimentos foi determinada em cada evento observado nas duas encostas, como se apresenta na Figura 16. Entre os eventos analisados, na EII não houve registro de escoamento no dia 19 de janeiro de 2010 e na EI não houve escoamento no dia 22 de janeiro de 2011, além da perda de dados no dia 5 de maio de 2010. Entre os eventos analisados, observa-se que a encosta EI apresentou maior porcentagem de SV (média de 40%) nos sedimentos em relação à encosta EII (média de 32%). Essa maior percentagem de SV na EI deve-se, possivelmente a presença maior de material orgânico nessa área promovido pelos dez anos de pousio.

Figura 16 – Concentração de sólidos voláteis na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) e sua precipitação por evento, no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba - Ce.



Analisando a Figura 16, os eventos dos dias 4 de abril de 2010 e 19 de janeiro de 2011, chamam a atenção, pois ambos são os únicos eventos em que a porcentagem de matéria orgânica (SV) foi superior na encosta degradada (EII). Por causa desse comportamento atípico entre os dados analisados, procurou-se identificar o que poderia ter promovido tal comportamento. A possível explicação para a maior porcentagem de S.V na EII pode ser encontra nas características do evento e nas condições anteriores a cada evento que foram praticamente idênticas. Os dois eventos proporcionaram o primeiro escoamento mais significativo do ano, principalmente na EII cuja lâmina escoada foi de sete e de quatro vezes

superior ao escoamento em EI no primeiro e segundo evento, respectivamente. Ambos os eventos ocorreram quando o solo na EII encontrava-se sem cobertura vegetal (plantas, matéria viva), com material orgânico solto pela ação desagregadora do sobrepastejo de animais. Esse material orgânico (mais leve) desagregado foi facilmente carreado no primeiro escoamento mais significativo que ocorreu, promovendo remoção de matéria orgânica da EII. Na EI essas condições não estavam propícias, pois o solo encontrava-se protegido por maior quantidade de cobertura morta (serrapilheira), que atua na agregação e no aumento da rugosidade do solo, diminuindo a velocidade e o volume de escoamento (BHATT; KHERA, 2006; MORENO-DE LAS HERAS; MARTÍN; NICOLAU, 2009). Essa cobertura morta presente na EI é resultante do acúmulo de material vegetativo produzido nas estações úmidas anteriores e mantidos na área devido ao pousio (SALES, 2003; SALES; OLIVEIRA, 2006; SOUSA, 2009).

Outro ponto que merece atenção na Figura 16 é o evento do dia 24 de janeiro de 2011, no qual a porcentagem de S.V foi de 85% (H = 0,122mm) dos sedimentos produzidos na EI. Esse valor é muito elevado, mesmo a EII tendo apresentado uma porcentagem de 58%. Não foi possível encontrar uma explicação para tal comportamento com base nas informações obtidas.

A perda total de sólidos fixos na encosta em pousio foi de 29,1 kg ha^{-1} e na encosta degradada essa perda foi de 172,7 kg ha^{-1}. A encosta em pousio reduziu igualmente em 83% a perda de sólidos voláteis e fixos em relação à encosta degradada. O pousio, por ser uma técnica que conserva a cobertura do solo, reduz a perda de nutriente e de matéria orgânica do solo, devido à redução do escoamento superficial e perda de solo (ALBUQUERQUE *et al.* 2002; INÁCIO *et al.* 2005; ONDA *et al.* 2007).

4.9 Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo foi obtida de forma indireta, baseada nas análises físico-químicas do solo e dos testes de infiltração com anéis concêntricos, realizados nas duas encostas. Utilizou-se dois métodos, o primeiro desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971 *apud* HAAN; BARFIELD; HAYES, 1993) e o segundo por Romkens *et al.* (1997).

Apesar da igualdade de resultados obtidos pelos dois métodos (Tabela 15), pode-se verificar alta variabilidade nos valores de K determinados pelos dois métodos com

respostas divergentes para cada profundidade nas duas encostas. O nomograma de Wischemeier determinou maior erodibilidade para a primeira camada de solo (0 – 20 cm) nas duas encostas, enquanto que o método de Romkens indicou resultado contrário. Para a determinação do potencial de perda de solo por meio do método EUPS foi adotado o K médio obtido pelo nomograma de Wischmeier. A escolha desse método foi devido ao fato de que nele são usados como parâmetros de obtenção de K a textura, a estrutura, a permeabilidade e o teor de matéria orgânica, que são propriedades que influenciam na erodibilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Tabela 15 – Erodibilidade média e das camadas de 0–20 cm e de 20–40 cm do Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco, determinados por dois métodos no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Método de Wischmeier *et al.* (1971)				
Parâmetros	Pousio, EI		Degradada, EII	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm	0 – 20 cm	20 – 40 cm
M.O %	1,0	0,5	0,8	0,5
Silte (*sil*) %	19,0	21,3	20,1	22,3
Areia fina (*af*) %	34,0	13,9	25,3	17,8
Areia grossa %	37,0	34,6	40,4	37,3
Argila (*arg*) %	9,0	29,7	13,4	22,1
Estrutura (S)	3	2	3	2
Permeabilidade (P)	3	1	3	1
Erodibilidade (K)*	0,052	0,017	0,043	0,024
K* médio	**0,035**		**0,034**	
Método de Romkens *et al.* (1997)				
Parâmetros	Pousio, EI		Degradada, EII	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm	0 – 20 cm	20 – 40 cm
A	0,109	0,041	0,099	0,061
Erodibilidade (K)*	0,028	0,041	0,030	0,037
K* médio	**0,035**		**0,033**	

*K = Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}.

Silva (1994) ao estudar a erodibilidade dos solos do estado do Ceará, observou que o K do Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco solo varia entre 0,020 e 0,039 Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1}. Portanto, o valor do K calculado para o solo em EI e EII está entre os limites definidos por Silva *op cit.*. Mas, a erodibilidade aqui calculada está um pouco acima dos valores obtidos por Denardi (1991 *apud* Albuquerque *et al.* 2005) que obteve para solos com B textural, como os Argissolos e Planossolos valores de K entre 0,004 a 0,031 Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1}. Segundo Carvalho (2008) o solo é classificado como de alta erodibilidade (K > 0,030).

4.10 Fator topográfico

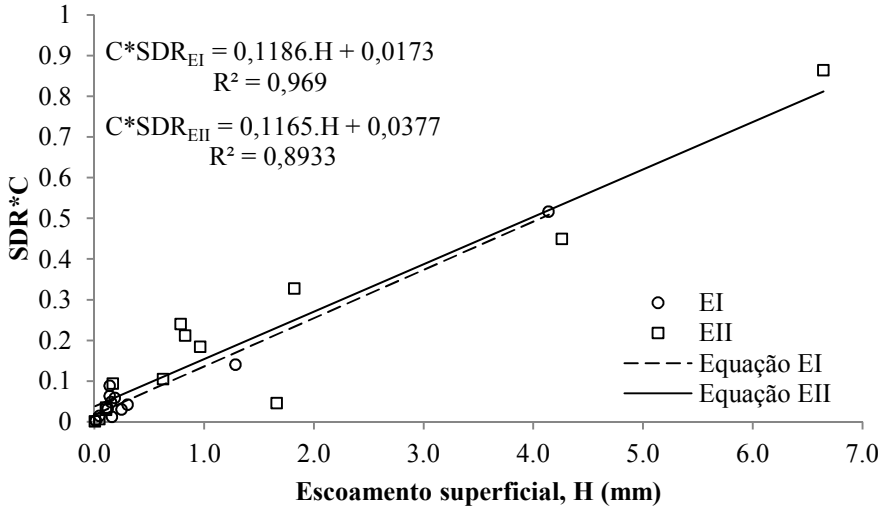
O fator topográfico (LS) a ser utilizado na EUPS para determinar a perda de solo anual nas duas encostas, obtido pela equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990) resultou num valor de 0,29 e 0,43 (adimensional) para EI e EII, respectivamente. Este resultado, segundo Silva *et al.* (2005), se caracteriza como fator de redução da erosão, pois encontra-se numa faixa de valor de 0 a 0,99. Através da relação entre o grau e o comprimento do declive apresentada por Bertoni e Lombardi Neto (1990), observa-se que declives próximos a 3% dificilmente atingiram valores de LS superiores a um. Portanto, o fator de maior peso na determinação do fator LS para as duas encostas foi o grau de declive.

4.11 Fator composto SDR*C

Com a obtenção dos demais parâmetros da EUPS e com a perda de solo obtida em 14 eventos, foi possível determinar o valor do fator C da EUPS. Este fator está associado à taxa da razão de aporte de sedimento (SDR), através da razão entre a erosão medida pelo resultado obtido da multiplicação dos demais fatores da EUPS. Para os demais eventos em que foi perdido o registro da produção de sedimento, procurou-se determinar uma equação que melhor expressasse a relação entre a lâmina escoada e o valor de SDR*C por meio dos eventos registrados. Com essa equação foi possível estimar o fator SDR*C para esses eventos.

Na primeira tentativa de obter uma correlação entre o escoamento superficial e o fator SDR*C, dispôs-se em um gráfico os valores de SDR*C *versus* seus respectivos escoamentos superficiais registrados para cada uma das duas encostas, como apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Fator SDR*C *versus* escoamento superficial na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII).



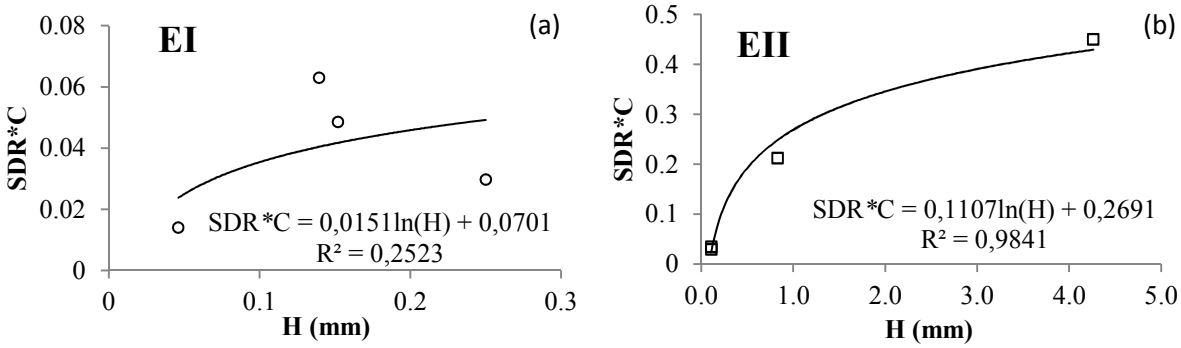
Apesar da ótima relação (R^2 = 0,969 na EI e R^2 = 0,8933 na EII) apresentada entre o fator SDR*C e o escoamento superficial nas duas encostas. As equações geradas na Figura 17 levam à obtenção de um valor de SDR*C superior a unidade, a partir de lâminas escoadas superiores a 8,2 mm e 8,3 mm na EI e EII, respectivamente. Valores de SDR*C iguais à unidade indicam que toda erosão gerada localmente foi transportada para fora da bacia. Esse valor (unidade) só pode ser atribuído às parcelas nas quais não exista cobertura do solo. Valores de SDR*C superiores à unidade significam que a quantidade de sedimento transportado é superior à produzida pela bacia, o que seria irreal. Portanto, segundo essa análise as equações definidas pela Figura 17 não podem ser utilizadas para estimar o valor de SDR*C para os eventos com perda de dados.

Na segunda tentativa, buscou-se primeiro entender o que teria levado à primeira tentativa a falhar na obtenção do valor de SDR*C para os eventos sem registro da perda de solo. Ao analisar evento por evento, verificou-se que o evento do dia 27 de fevereiro de 2011 (chuva de 18,0 mm) produziu um escoamento de 4,1 e 6,6 mm na EI e EII, respectivamente. A erosividade, estimada pela regressão da Figura 10, foi de 85,3 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, sendo provavelmente este valor subestimado, o que teria proporcionado maior valor de SDR*C nas duas áreas. Essa constatação foi porque um evento com características semelhantes a esse ocorreu no dia 2 de fevereiro de 2011 (chuva de 18,3 mm) com escoamento de 0,3 e 4,2 mm em EI e EII, respectivamente. Nesse caso, a erosividade obtida pelo registro da intensidade da chuva foi de 345,7 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, ou seja, quatro vezes superior à do evento anterior. O uso da equação apresentada na Figura 11 para obtenção da erosividade pode sub ou

superestimar alguns eventos, promovendo determinação de valor SDR*C inconsistente, além de gerar uma linearidade da equação de SDR*C *versus* escoamento superficial.

Para esta segunda tentativa utilizou-se somente valores reais de erosividade (R) na determinação do SDR*C a ser plotado no gráfico junto com o escoamento superficial. Os resultados apresentado nas Figuras 18a e 18b demonstram bom ajuste da equação para a encosta em processo de desertificação (EII) e nenhuma relação significativa para encosta em pousio (EI), provavelmente devido às lâminas escoadas nesta encosta serem pequenas (< 0,5 mm).

Figura 18 – Fator SDR*C *versus* escoamento superficial: (a) encosta em pousio e (b) encosta degradada.



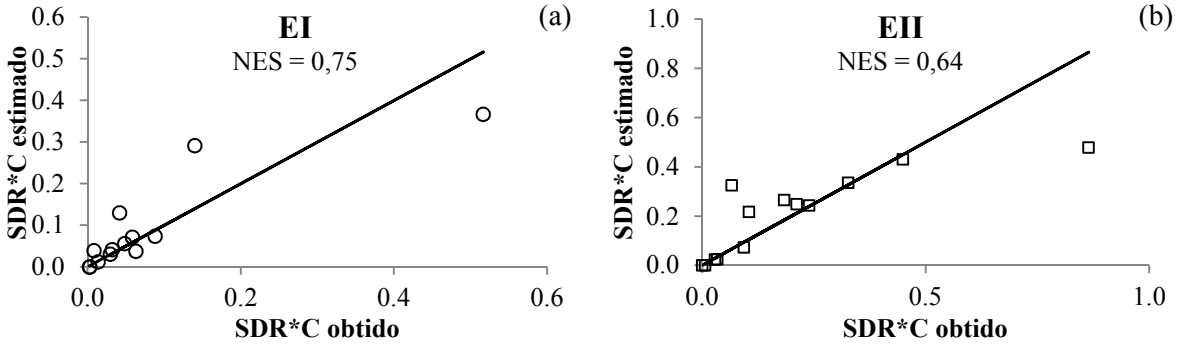
Por conta da equação formulada na Figura 18a na EI, buscou-se a alternativa de tentar correlacionar a razão entre o SDR*C *versus* H na EI, pelo SDR*C *versus* H na EII que resultou em uma razão média de 1,23 com coeficiente de variação de 11,7% entre as encostas. Portanto, a obtenção do valor de SDR*C na encosta em pousio foi obtido seguindo a equação 29, em que $SDR*C_{EI}$ é a razão de aporte de sedimento na encosta em pousio, adimensional; H_{EI} é o escoamento superficial da encosta em pousio (mm); $SDR*C_{EII}$ é a razão de aporte de sedimento na encosta degradada, adimensional; e H_{EII} é o escoamento superficial da encosta degradada (mm).

$$SDR*C_{EI} = \frac{1,23}{H_{EII}/(H_{EI} \times SDR*C_{EII})} \quad (29)$$

A equação 29 somente é valida para escoamentos cuja lâmina seja superior há 0,085 mm, valores abaixo serão considerados iguais a zero, por resultarem em valores negativos. Um bom exemplo do bom ajuste desse método é que mesmo com um escoamento de lâmina de 100 mm em ambas as encostas o resultado de SDR*C será inferior a 0,8. O coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) foi usado para determinar a eficiência do modelo em ambas as encostas (Figura 19). O resultado do coeficiente de NES qualifica o método como

de boa qualidade (AVANZI *et al.* 2008). Melhor resultado poderia ter sido obtido pelo coeficiente de NES, caso todos os valores de erosividade tivessem sido determinados de forma direta.

Figura 19 – Análise dos valores simulados *versus* obtidos do fator SDR*C e o coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio (EI) e (b) encosta degradada (EII).



Apesar dos poucos eventos utilizados para obtenção da relação do escoamento superficial com o fator SDR*C, optou-se por utilizar a equação da Figura 18b e a equação 29, para estimar o fator SDR*C na EII e EI, respectivamente. Sua escolha baseou-se no coeficiente de NES, classificando o método como bom (AVANZI *et al.* 2008) e pelos resultados obtidos não atingirem valores superiores a unidade, mesmo para grandes lâminas escoadas. Os valores de SDR*C serão usados como um dos fatores do método EUPS*SDR, para estimar a perda de solo anual nas duas encostas.

4.12 Potência de corrente

O resultado apresentado na Tabela 16 indica que a potência de corrente foi cerca de cinco vezes superior na encosta degradada (EII) em relação à encosta em pousio (EI). Esse resultado destaca o efeito do pousio na redução da energia do fluxo para transportar sedimento, pois a lâmina escoada na EII foi apenas 1,5 vezes superior à EI.

Essa informação reforça os resultados apresentados pela perda de solo, pelo escoamento superficial e pelo potencial de arraste de sedimento, que evidenciaram o efeito favorável do pousio sobre a redução desses parâmetros. Porém, as características físicas da encosta em pousio indicam maior susceptibilidade a ocorrência de maiores enchentes na EI do que na EII como apresenta o coeficiente de compacidade (K_c) e de forma (K_f). Segundo

Villela e Mattos (1975) quanto mais próximos forem os valores de K_c (1,3 e 1,56 na EI e EII, respectivamente) da unidade, mais susceptível a enchentes é a bacia ou encosta e quanto menor o valor de K_f (0,41 e 0,21 na EI e EII, respectivamente) mais susceptível a enchentes é a encosta.

Tabela 16 – Resumo dos fatores usados para a determinação da potência de corrente na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a abril de 2011

Parâmetros	Unidade	EI	EII
[1]ρ	kg m^{-3}	977,0	977,0
[2]g	m s^{-2}	9,81	9,81
[3]S_0	m m^{-1}	0,029	0,034
[4]U	m s^{-1}	0,23	0,39
[5]R_H	m	0,08	0,19
[6]Ω	J s^{-1} m^{-2}	0,48	2,38

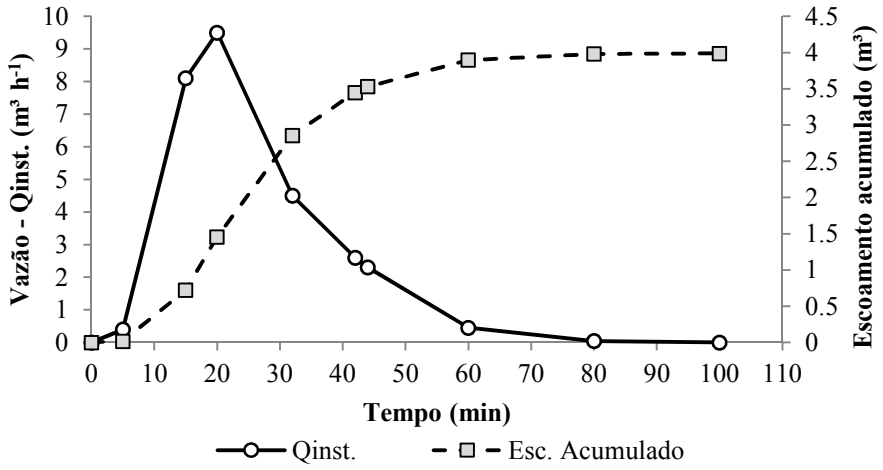
[1] Peso especifico da água a temperatura de 25°C; [2] aceleração da gravidade; [3] gradiente de declividade; [4] velocidade de escoamento; [5] raio hidráulico; e [6] potência de corrente.

4.13 Hidrograma do evento do dia 27 de fevereiro de 2011.

Foi acompanhado o escoamento gerado a partir de uma precipitação de 18,6 mm na encosta degradada. A chuva iniciou-se às 14:50 h e terminou às 16:05 h, duração de 1:15 h (uma hora e quinze minutos). A duração do escoamento na EII foi de 1:35 h (uma hora e trinta e cinco minutos), tempo muito próximo à duração da chuva. Já o escoamento na EI teve uma duração próxima à 2:45 h (duas horas e quarenta e cinco minutos). Mais uma vez, por falha no Pluviômetro de Báscula, não foi registrada a intensidade desse evento.

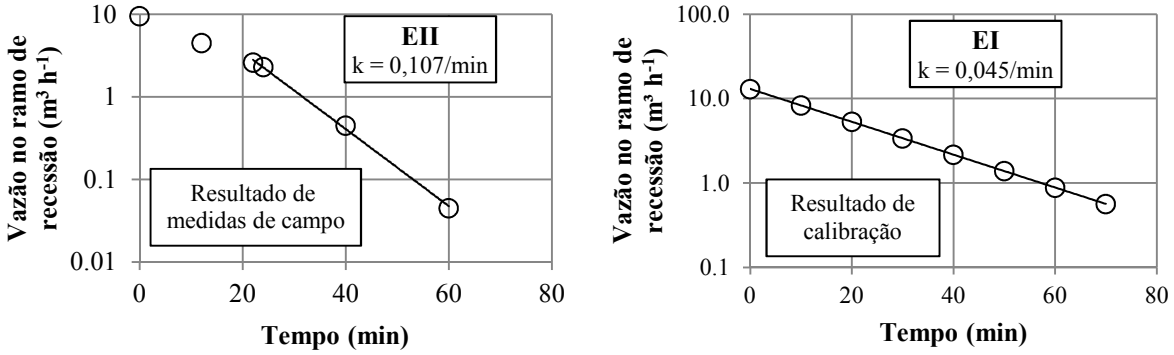
Pela observação da vazão da *Calha Parshall* (Figura 6) e por medições diretas no escoamento, foi possível gerar o hidrograma desse evento, como mostra a Figura 20. Devido ao acompanhamento do escoamento superficial ser realizado por somente uma pessoa, priorizou-se observar uma das duas encostas, sendo escolhida a encosta degradada. Mas, no entanto, com o fim do escoamento nessa encosta foi observado que a encosta em pousio encontrava-se em pleno escoamento. A vazão registrada na encosta em pousio foi de 13 L min^{-1} às 16:30 h, momento em que já não havia mas escoamento na EII. O volume final coletado a partir deste momento foi de 350 L. A partir dessas informações, foi determinada a curva de decaimento da vazão em ambas as encostas.

Figura 20 – Hidrograma de vazão e volume acumulado na encosta degradada (EII) em evento registrado com precipitação de 18,6 mm no dia 27 de fevereiro de 2011.



A partir da curva de decaimento da encosta degradada, determinada através dos registros obtidos em campo, e com os dados da vazão na encosta em pousio ao final do escoamento em EII, juntamente com o conhecimento do volume total escoado a partir daquele momento, foi possível modelar a curva de decaimento na EI (Figura 21).

Figura 21 – Curva da vazão de recessão do escoamento superficial no evento do dia 27 de fevereiro de 2011, com precipitação de 18,6 mm: (a) encosta degradada (EII) e (b) encosta em pousio (EI).



O resultado apresentado na Figura 21 demonstra que enquanto a vazão de recessão do escoamento superficial na EII decresce a uma taxa de 0,107 min^{-1}, a taxa da vazão de recessão na EI é de 0,045 min^{-1}. Esse resultado reforça a importância da manutenção contínua da cobertura vegetal promovido pelos dez anos de pousio sobre o regime hidrológico. A menor taxa da vazão de recessão na encosta em pousio indica o início da recuperação de seu escoamento de base, o que favorece maior permanência da água no corpo hídrico.

4.14 Calibração e validação do método SCS

O resultado da calibração e validação do parâmetro número da curva (CN) do método SCS, está apresentado na Tabela 17. O parâmetro CN foi definido pelo ajustamento do seu valor, através do coeficiente de NES, na etapa de calibração, por meio do *software Excel* com o uso da ferramenta *Solver.* Em seguida, foi realizada a verificação o comportamento do valor de CN calibrado em outro conjunto de dados, na etapa de validação.

O parâmetro CN obteve melhor ajuste na encosta em pousio (EI), apresentando melhor coeficiente de NES (Tabela 17), tanto na calibração como na validação do método SCS em relação ao CN da encosta degradada (EII). A explicação para o melhor ajuste do parâmetro CN do método SCS na EI, possivelmente se deve ao fato da mesma permanecer com uma constante cobertura do solo durante todo o ano. Essa cobertura contínua do solo na EI promove maior estabilidade das condições hidrológicas do solo (Albuquerque *et al.* 2002; Freitas *et al.* 2008). O coeficiente de NES obtido na encosta degradada apresenta valores aceitáveis, apresentando-se na faixa de boa qualidade (NES entre 0,75 a 0,45) na calibração e no limite desta faixa no processo de validação, segundo classificação apresentada por Avanzi *et al.* (2008).

Tabela 17 – Valores de CN para as três condições de umidade antecedente do método SCS, calibrados e validados pelo coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES, para encosta em pousio (EI) e encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

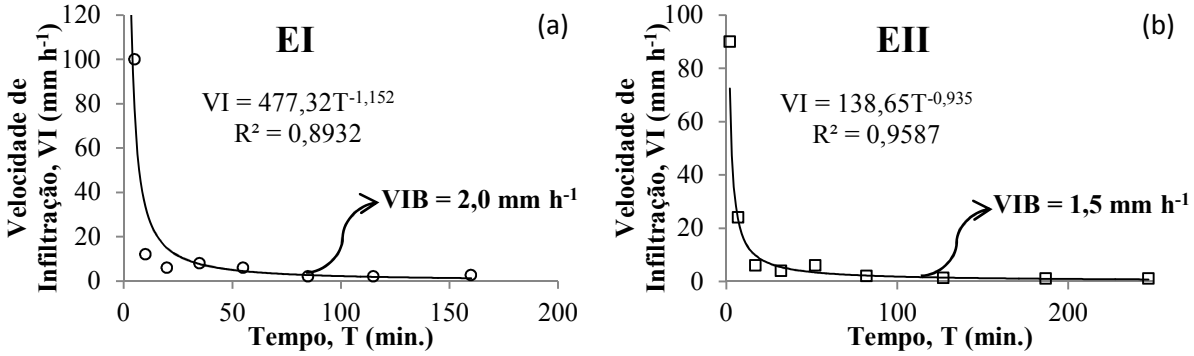
Parâmetros	Ia	CN - I	CN - II	CN - III	NES	
					Calibração	Validação
EI	0,20	60,38	78,40	89,30	0,92	0,65
EII	0,20	71,16	85,45	93,11	0,52	0,44

A fim de averiguar se os valores de CN apresentados na Tabela 17 representam bem as condições reais das duas encostas, buscou-se através de tabelas existentes na literatura obter o valor de CN para as duas encostas e comparar com os observados acima.

O grupo de solo presente nas duas encostas, de acordo com a classificação usada no método SCS, é o C. A determinação do grupo C para o solo das encostas foi pelo critério da textura do solo e da taxa de infiltração básica (também denominada de velocidade de infiltração básica - VIB) usando a Tabela 7. A textura do solo foi obtida pela análise granulométrica do solo, cujos resultados estão na Tabela 2. A VIB foi obtida por meio de testes de infiltração usando o método de anéis concêntricos. O resultado da VIB para as duas

encostas está apresentado na Figura 22, bem como a equação que estima a velocidade de infiltração no tempo para as duas áreas.

Figura 22 – Velocidade de infiltração *versus* tempo e sua Velocidade Básica de Infiltração, VIB: (a) encosta em pousio (EI); e (b) encosta degradada (EII), no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce



A Tabela 18 apresenta valores de CN que relaciona o estado de cobertura do solo, as condições hidrológicas e o tipo de solo, sob a condição de umidade média, para as condições encontradas nas duas encostas.

Tabela 18 – Número da curva (CN) para bacias agrícolas nas condições de umidade antecedente normal (AMC II)

Cobertura do Solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Pastagens para pastoreio[1]	Pobre	68	79	(86)	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
Campos permanentes[2]	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração.	45	66	(77)	83
	Densas, de alta transpiração.	25	55	70	77

[1] Fonte: Pruski *et al.* (2004); [2] Fonte: Tucci (1993).
Entre parênteses o valor de CN tabelado para as duas encostas.

O valor de CN para EI foi classificado como campos permanentes, devido à vegetação típica para estas áreas de Planossolos serem desfavoráveis ao crescimento de plantas perenes, conforme apresentado por Silva *et al.* (2003) e Sá *et al.* (1994 *apud* SALES; OLIVEIRA, 2005). A Caatinga nessas áreas é bastante raleada, com alta diversidade em seu estrato herbáceo formado devido à exclusão de animais (SALES; OLIVEIRA, 2005). Já a EII por ser usada como área de pastagem há muito tempo, sem adoção de prática conservacionista, encontra-se em más condições, a pesar da ocorrência de uma gramínea conhecida por capim-panasco (*Aristida setifolia*). A presença dessa gramínea se dá devido ela

não ser apreciada como forragem pelos animais, proporcionando a formação de uma relva continua sobre o solo, impedindo uma maior degradação (SALES; OLIVEIRA, 2005) O capim-panasco é considerada como planta indicadora do processo de degradação do solo (GUEDES *et al.* 2008; CUNHA *et al.* 2009; ACIOLY *et al.* 2005). Portanto, os valores de CN apresentados na Tabela 18 estão coerentes com os valores observados na Tabela 19, representando maior nível de confiança na utilização dos valores de CN (78,40 na EI e 85,45 na EII) nas duas encostas para predição do escoamento superficial não determinado.

A Tabela 19 apresenta o escoamento superficial, promovido pelos 21 eventos registrados no período de estudo nas duas encostas. Desse total, seis eventos tiveram seus escoamentos estimados pelo método SCS. O escoamento superficial na EII foi 68% superior ao escoamento na EI, levando em consideração todos os eventos, ou seja, os medidos e os modelados. Apesar de o método SCS apresentar bom ajuste às condições das duas encostas, houve situações em que o método tornou-se mais susceptível ao erro. Essas situações ocorreram quando o volume precipitado nos cinco dias anteriores ficou próximo ao limite das condições de umidade antecedente (AMC). Por exemplo, o evento do dia 2 de maio de 2010 no qual a precipitação nos cinco dias antecedentes foi de 13,5 mm e 12,6 mm na EI e EII, respectivamente. Nesse caso adotando-se a condição AMC I, a lâmina escoada estimada foi de 0,38 mm e 3,47 mm na EI e na EII, respectivamente. Caso a condição de umidade adotada seja AMC II, a lâmina escoada eleva-se para 7,75 mm e 14,05 mm na EI e EII, respectivamente. Esse exemplo demostra a pouca acurácia do método SCS para eventos em que a precipitação nos cinco dias encontra-se próxima ao limite da AMC. O melhor seria a obtenção de uma equação em que o CN fosse obtido a partir da precipitação antecedente. Foi realizada uma tentativa de obtê-lo, mas o resultado apresentou baixa correlação com o coeficiente de NES negativo. Talvez, com um maior banco de dados seja possível determinar esta correlação.

Tabela 19 – Escoamento superficial (H) e precipitação (P) na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Data	EI		EII	
	P (mm)	H (mm)	P (mm)	H (mm)
19/1/2010	16,0	0,013	17,0	0
26/1/2010	16,0	0,013	17,0	0,007
4/4/2010	31,5	0,162	32,5	1,663
1/5/2010	13,5	0,046	12,6	0,109
2/5/2010	**41,5**	**7,756**	**41,3**	**14,048**
5/5/2010	**30,5**	**10,866**	**30,1**	**15,369**
TOTAL 2010	**149,0**	**18,9**	**150,5**	**31,2**
10/1/2011	19,1	0,140	18,8	0,109
19/1/2011	24,7	0,152	23,5	0,829
22/1/2011	10,7	0	11,4	0,048
24/1/2011	15,5	0,122	15,1	0,965
25/1/2011	**44,4**	**21,352**	**41,3**	**25,013**
2/2/2011	18,2	0,250	18,4	4,263
20/2/2011	10,9	0,188	10,2	0,787
25/2/2011	8,6	0,140	7,2	0,170
26/2/2011	**33,2**	**4,133**	**34,4**	**9,612**
27/2/2011	18,6	4,141	17,2	6,646
11/3/2011	18,0	0,305	19,2	0,627
16/3/2011	24,3	1,288	23,2	1,824
12/4/2011	21,2	0,621	20,8	0,643
13/4/2011	**38,4**	**16,640**	**39,2**	**23,156**
14/4/2011	**46,2**	**22,808**	**45,1**	**28,416**
TOTAL 2011	**352,0**	**72,3**	**345,0**	**103,1**

Obs: os valores em **negrito** o escoamento foi estimado pelo método SCS.

Outro parâmetro importante do método SCS é a abstração inicial (Ia) que influencia diretamente no início da geração do escoamento superficial, pois a taxa atribuída a esse parâmetro engloba as perdas iniciais, promovidas principalmente pela interceptação, infiltração inicial e o armazenamento nas depressões antes do início do escoamento superficial. Foi adotada a taxa padrão de 0,2; recomendada pelo método SCS para as duas áreas. No entanto, analisando as condições encontradas nas duas áreas (Figura 23), pode-se verificar que possivelmente a taxa de Ia é maior em EI do que em EII, pois na encosta degradada o estrato da vegetação é formado basicamente pela vegetação herbácea e, em alguns períodos por pequena quantidade de cobertura morta. Já a encosta em processo de recuperação (EI) possui no mínimo dois estratos e com três a partir do desenvolvimento da cobertura vegetal no período das chuvas. Os estratos presentes na EI são formados pela vegetação arbustiva (principalmente a jurema preta – *Mimosa hostilis*) no estrato superior,

pelas plantas herbáceas e cactáceas no estrato intermediário e pela cobertura morta ou serrapilheira no estrato inferior junto ao solo (Figura. 23c e 23d). Esse arranjo da cobertura do solo na EI influencia aumentando as perdas iniciais, principalmente pelo aumento da interceptação e da retenção. Além do mais, os resultados das análises de solo demonstram que a EI possui capacidade de armazenamento de água duas vezes superior a da EII, na profundidade de 0 a 40 cm. Esse armazenamento também contribui para o aumento das perdas iniciais por armazenamento em relação à EII, principalmente quando o solo encontra-se com baixo teor de água.

Figura 23 – Composição da vegetação nas duas encostas: (a) área degradada (EII), destacando-se a cobertura do solo, o relevo suave e a presença do capim-panasco em dezembro de 2009; (b) área degradada (EII), destacando-se a ausência do capim-panasco em agosto de 2010; (c) área em pousio - EI, destacando-se a proteção formada pelo estrato vegetal superior (jurema) e inferior (cobertura morta) no final de janeiro de 2011; e (d) área em pousio (EI) e área adjacente, apresentado o estrato intermediário (vegetação herbácea) já protegendo o solo no final de fevereiro.

(a)

(b)

(c)

(d)

4.15 Estimativa da perda de solo anual 2010 e 2011

Devido a não captação dos dados de perda de solo (P.S) em sete eventos, foi necessário o uso da modelagem para tentar recuperar a perda de solo nesses eventos. A tentativa de recuperação dos dados foi realizada através de duas metodologias. A primeira, baseada na curva-chave da perda de solo correlacionada ao escoamento superficial. A outra metodologia baseou-se na EUPS para determinar a erosão localizada associada ao SDR para determinar a quantidade de sedimento que passa pelo exutório de cada encosta. Em ambas as metodologias o escoamento superficial para os eventos que não tiveram seus dados medidos, foi estimado pelo método SCS.

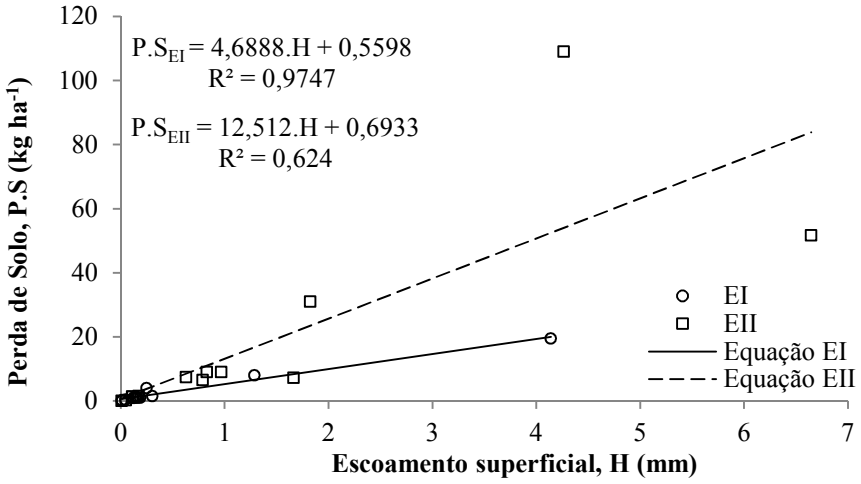
4.15.1 Modelo 1 – Curva-chave de sedimentos

Neste método a perda de solo para os eventos sem registro foi obtida por meio de dois modos de determinação da curva-chave de sedimento. O primeiro modo foi da relação direta entre a perda de solo e o escoamento superficial, que resultou na relação de equação linear entre os fatores, cujo método foi denominado de Curva-chave de relação linear – CClin. O segundo modo foi da relação logarítmica entre a perda de solo e o escoamento superficial, que resultou em uma equação potencial entre os fatores, cujo método será denominado de Curva-chave de relação potencial – CCpot.

As equações de curva-chave que foram usadas para estimar a perda de solo nas duas encostas (EI e EII) foram obtidas a partir da CClin como apresentada na Figura 24. A encosta em pousio apresentou a equação com melhor ajuste, observado pelo coeficiente de correlação ($R^2 = 0,9747$) e pelo coeficiente de NES = 0,97 (Figura 26). O melhor desempenho da EI se deve às melhores condições de cobertura do solo, que ofereceram maior estabilidade na relação entre o escoamento superficial e perda de solo. Na EII a cobertura do solo sofreu grandes variações (Figura 23), promovendo maior variação na relação entre o escoamento e perda de solo. Um exemplo da maior variabilidade do escoamento e da perda de solo na EII está apresentado na Tabela 20. Nesse exemplo, foram analisados dois eventos com lâmina de precipitação bem próxima em que o aumento do escoamento superficial não promoveu

aumento na perda de solo na EII. Enquanto que na EI a perda de solo acompanhou o aumento da lâmina escoada.

Figura 24 – Perda de solo *versus* escoamento superficial, determinados em campo na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, Ce.



Verificaram-se diferentes respostas do regime hidrosedimenlógico nos dois eventos mostrados pela Tabela 20 na encosta degradada (EII). Nesses eventos observou-se incremento de 57% na lâmina escoada e redução de 52% na produção de sedimento na comparação entre o evento do dia 2 de fevereiro com o do dia 27 de fevereiro de 2011. Enquanto que na EI o aumento do escoamento foi acompanhado pela perda de solo, isso ocorreu em uma taxa menor (razão de 5 para perda de solo, contra razão de 13 para o escoamento). A alteração do regime hídrico representado pelo aumento do escoamento superficial, (principalmente na EI) observada nos dois eventos, analisados na Tabela 20, deveu-se a mudança da condição de umidade. Istok e Boersma (1986 *apud* SANTOS *et al.* 2010) realizaram estudo com dados de chuva e de escoamento superficial para determinar a significância relativa das chuvas antecedentes no escoamento superficial em microbacias agrícolas do Norte dos Estados Unidos, a partir de eventos de chuvas com baixa intensidade (de 5-15 mm h^{-1}). Os autores *op cit.* concluíram que a umidade antecedente teve maior contribuição efetiva na quantidade de água escoada que a intensidade da precipitação. Outros autores também relatam a importância da umidade antecedente do solo na geração do escoamento (FIGUEREIDO, 2011; HUSSEIN, 1996; SEQUINATTO *et al.* 2006; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2010). A alteração do regime sedimentológico, representado pelo comportamento divergente nas duas encostas, quanto à perda de solo na comparação entre os dois eventos analisados,

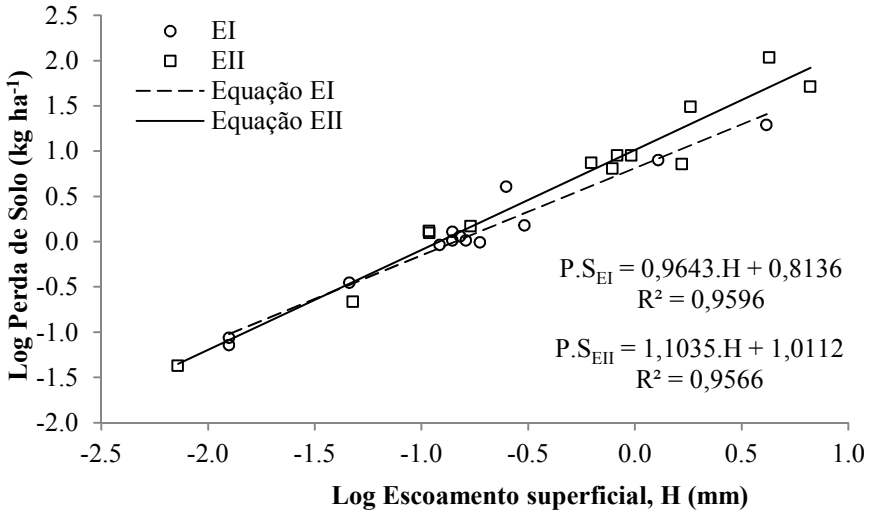
está intimamente correlacionada à cobertura do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; FREITAS *et al.* 2008; LOBATO *et al.* 2009; ONDA *et al.* 2007; SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003). Na EI a manutenção do solo protegido pela cobertura (seja vegetal e/ou serrapilheira) proporciona incrementos menores na perda de solo em relação aos incrementos de lâminas escoadas (SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003). Já na EII, o solo no primeiro evento encontrava-se desprotegido de cobertura, favorecendo grande perda de solo de modo que, no segundo evento com o solo já dispondo de proteção da cobertura vegetal (Figura 21d), resultou em menor perda de solo mesmo com o aumento da lâmina escoada. Panachuki *et al.* (2006) observaram que uma área de pastagem, apesar de promover maior escoamento superficial, não produziu maior perda de solo em comparação com outra sob plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária, com chuvas simuladas em diferentes intensidades (40, 60, 80 e 100 mm h^{-1}) em Dourados – MS. Esse resultado aponta o que provavelmente deve ter ocorrido para a redução da perda de solo no evento do dia 27 de fevereiro de 2011 na encosta degradada.

Tabela 20 – Resposta hidrológica de dois eventos de mesma altura pluviométrica na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII), no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce

	Precipitação (mm)	Precipitação antecedente 5 dias (mm)	Erosividade (MJ mm ha^{-1} h^{-1})	Escoamento superficial (mm)	Perda de solo medida (kg ha^{-1})
			02 de fevereiro de 2011		
EI	18,2	9,5	345,8	0,3	4,0
EII	18,4	8,9	345,8	4,2	108,9
			27 de fevereiro de 2011		
EI	18,6	45,4	-	4,1	19,5
EII	17,2	44,3	-	6,6	51,7

O segundo modo utilizado para determinar a curva-chave pela relação potencial (CCpot) resultou nas equações 31 e 32 para estimativa da perda de solo nas encostas EI e EII, respectivamente. Estas equações foram desenvolvidas a partir das equações apresentas na Figura 25, usando as equações 24, 25 e 26. O resultado apresentou o melhor coeficiente de correlação (R^2) nas duas encostas, no entanto, seu coeficiente de eficiência do modelo NES teve o índice reduzido em relação ao método CClin em ambas as encostas, como apresentado na Figura 26.

Figura 25 – Logaritmo da perda de solo *versus* logaritmo do escoamento superficial dos resultados decampo, na encosta em pousio (EI) e na encosta degradada (EII) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011.

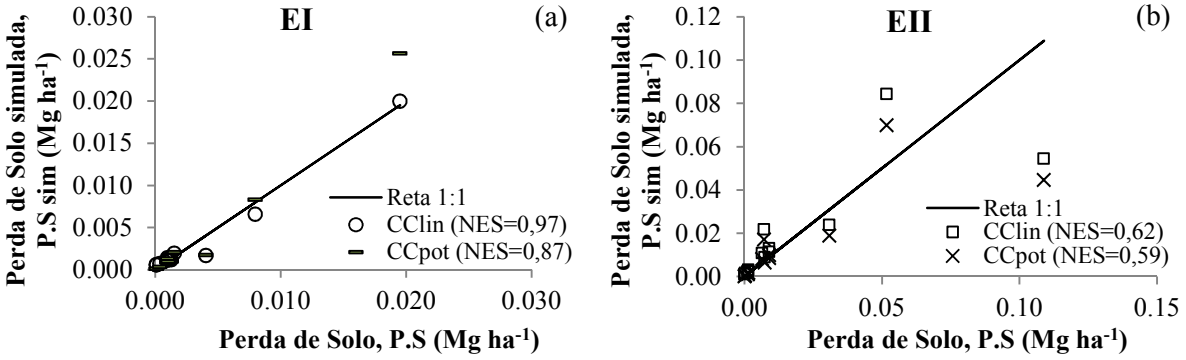


$$P.S_{EI} = 6{,}5103.H^{0{,}9643} \tag{30}$$

$$P.S_{EII} = 10{,}6709.H^{1{,}0135} \tag{31}$$

em que, H é o escoamento superficial registrado em ambas as encosta (mm).

Figura 26 – Perda de solo obtida e simulada pelo método curva-chave (relação linear –CClin; e relação potencial – CCpot) com seus respectivos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio (EI); e (b) encosta degradada (EII).



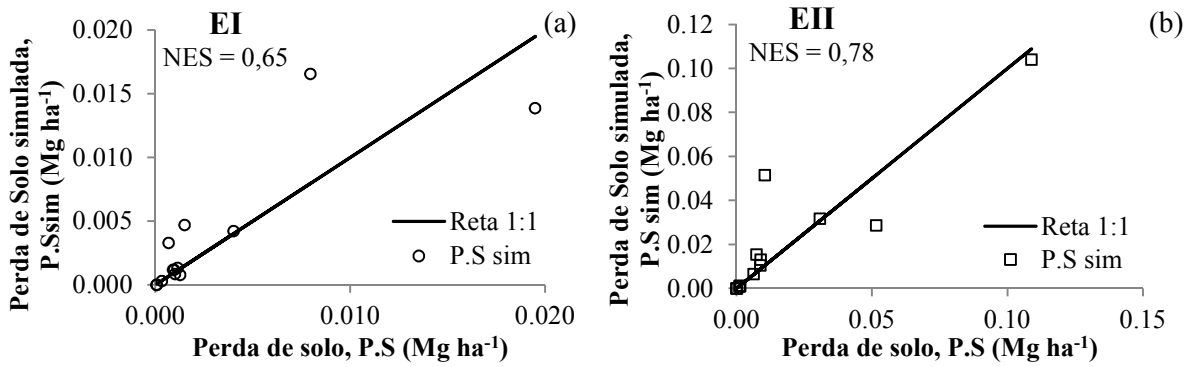
A perda de solo anual obtida com método CClin foi estimada em 0,09 Mg ha^{-1} e 0,38 Mg ha^{-1} nas encostas EI e EII, respectivamente no ano de 2010. No período que compreende o ano de 2011, a perda foi de 0,32 Mg ha^{-1} e 1,32 Mg ha^{-1} nas encostas EI e EII, respectivamente. A perda de solo anual obtida pelo método CCpot foi estimada em 0,11 Mg ha^{-1} e 0,43 Mg ha^{-1} nas encostas EI e EII, respectivamente no ano de 2010. Já no período que compreendeu o ano de 2011 foi de 0,38 Mg ha^{-1} e 1,55 Mg ha^{-1} nas encostas EI e EII,

respectivamente. A perda de solo obtida pelo CCpot foi cerca 10 a 20% superior às perdas de solo obtido pelo CClin para as duas encostas nos dois anos analisados.

4.15.2 Modelo 2 – EUPS*SDR

Após a obtenção de todos os fatores que envolvem o método EUPS associado ao SDR, realizou-se uma avaliação sobre a qualidade do modelo através do coeficiente de NES, usando os valores obtidos e simulados da perda de solo. O resultado apresentado pelo coeficiente de NES da Figura 27 foi inverso ao NES obtido no fator SDR*C (Figura 19) em relação à sua qualidade nas encostas em pousio e degradada, onde foram apresentados melhor ajuste na EI (NES = 0,75) do que na EII (NES = 0,64).

Figura 27 – Perda de solo medida e simulada pela associação da EUPS*SDR com seus respectivos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio, EI; e (b) encosta degradada, EII.



Analisando os valores que mais se distanciaram da reta 1:1 na Figura 27, constatou-se que estes provieram de dados cujos valores de erosividade (R) foram obtidos por meio da equação apresentada na Figura 11. O uso dessa equação subestima ou superestima o resultado individual de perda de solo simulado em cada evento. A Tabela 21 apresenta em resumo os valores e equações utilizadas para obtenção de cada parâmetro a ser usado na estimativa da perda de solo em cada encosta através do método EUPS*SDR.

Tabela 21 – Resumo dos valores e equações dos parâmetros usadas na determinação da perda de solo nas encostas pelo método associado EUPS*SDR

Parâmetros	Encosta em pousio, EI	Encosta degradada, EII
Área, A (ha)	0,0370	0,0462
Erodibilidade, K (Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})	0,036	0,035
Erosividade, R (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1})	$Ec = 916 + 331\log(i) \rightarrow i \leq 3in./h$ $Ec = 1074 \times i \rightarrow\rightarrow\rightarrow \rightarrow i > 3in./h$ $R = (\sum Ec \times I_{30}) \times 17{,}02$	**ou** $R = 1{,}1063 \times P^{1{,}5275}$
Declividade e comprimento de rampa, LS	0,2946	0,4327
Prática conservacionista, P	1	1
Razão de aporte de sedimento e Uso e cobertura do solo, SDR*C	$SDR * C_{EI} = \frac{1{,}23}{H_{EII} / H_{EI} \times SDR_{EII}}$	$SDR * C_{EII} = 0{,}1107 \ln(H_{EII}) + 0{,}2691$

A perda de solo anual por este modelo foi estimada em 0,09 Mg ha-1 e 0,22 Mg ha-1 nas encostas EI e EII, respectivamente no ano de 2010. No período que compreende o ano de 2011 foi de 0,33 Mg ha-1 e 0,77 Mg ha-1 nas encostas EI e EII, respectivamente.

4.16 Modelo curva-chave versus modelo EUPS*SDR

A Figura 28 apresenta a dispersão dos valores estimados em relação aos valores obtidos e o valor do coeficiente de NES para cada método (curva-chave – CClin e CCpot e EUPS*SDR). Para a encosta em pousio (EI) o melhor resultado para a estimativa da perda de solo foi obtido pelo método de curva-chave. Tanto o método CClin, como o CCpot, apresentaram um NES classificado como de ótima qualidade (AVANZI *et al.* 2008) para serem utilizados na determinação da perda de solo. Entre esses dois, o método CClin com NES = 0,97 foi superior ao método CCpot com NES = 0,87. A menor eficiência foi obtida pelo método EUPS*SDR, no entanto o método foi avaliado como de boa qualidade (0,45 < NES < 0,75) segundo Avanzi *et al.* (2008).

Como na EI, incrementos no escoamento superficial geralmente são acompanhados por aumento na perda de solo, esse comportamento explica, em parte, o melhor ajuste do método CClin nessa encosta. Esse comportamento é influenciado pela

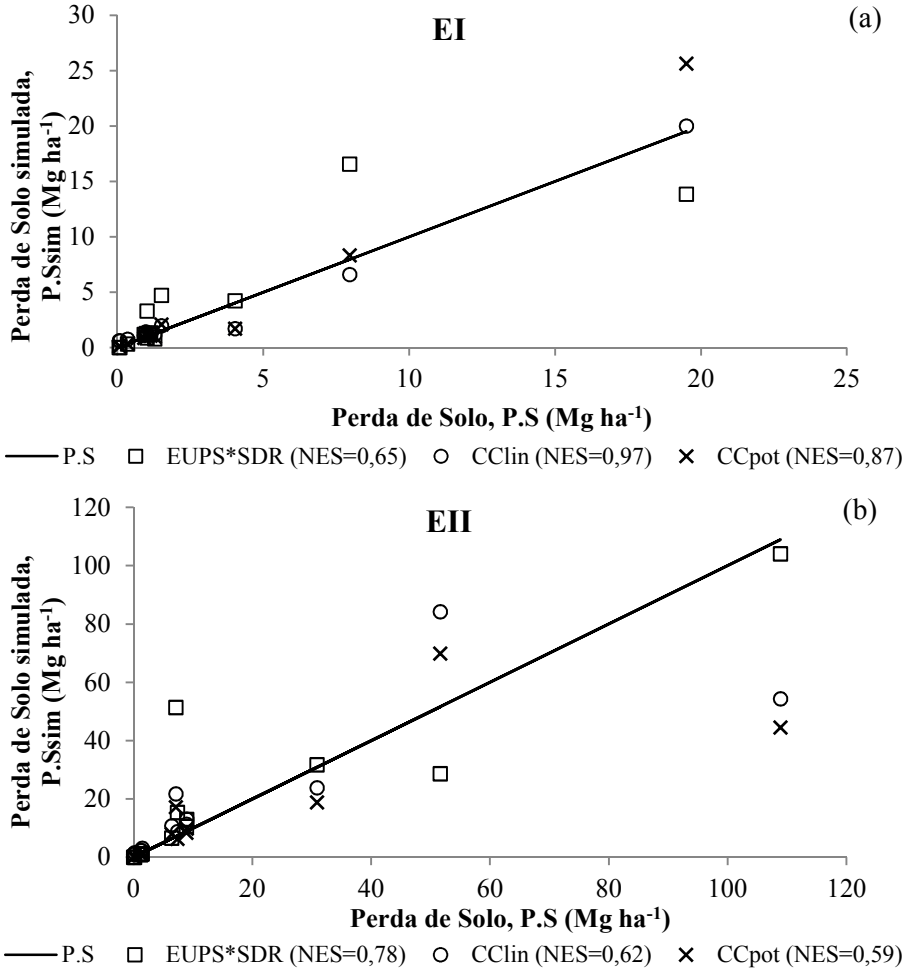
manutenção contínua da cobertura do solo na encosta em pousio. Boer e Puigdefabregas (2005) estudaram à associação entre a cobertura vegetal e os atributos do solo em encostas no sudeste semiárido da Espanha. Os autores *op cit.* concluíram que o acúmulo de serrapilheira sob as plantas contribui para o aumento da rugosidade da superfície, maiores taxas de infiltração e redução dos limites de geração do escoamento superficial, oferecendo maior estabilidade ao escoamento superficial, bem como à perda de solo. Outros autores também confirmam os resultados observados acima (WEI *et al.* 2007; FREITAS *et al.* 2008; MORENO-DE LAS HERAS; MARTÍN; NICOLAU, 2009).

O exemplo comparativo de dois eventos mostrados na Tabela 20 demonstra bem a maior estabilidade entre o escoamento superficial e a perda de solo, promovida pela cobertura vegetal na EI. Moreno-de Las Heras; Martín; Nicolau (2009) observaram que as variações sazonais no estado da superfície do solo e da umidade influenciaram fortemente as respostas hidrológicas, sendo que que a cobertura vegetal atenuou esses efeito sobre as respostas hidrológicas, especialmente no caso das taxas de infiltração. No entanto, o método de curva-chave apresenta limitações como: a falta de medidas de perda de solo nos grandes escoamentos e devido a este, a extrapolação do método. Essas limitações também foram constatadas por Bicalho (2006). O método EUPS*SDR obteve menor coeficiente de NES, devido possivelmente ao ajustamento do fator SDR*C que foi estimado através da equação 29. Outra possibilidade foi a determinação indireta do fator erosividade da chuva através da equação apresentada na Figura 11. O somatório da perda de solo pelos eventos não divergiram em muitos dos valores simulados pelos três métodos (Anexo B).

Na encosta degradada (EII) o melhor coeficiente NES foi obtido pelo método EUPS*SDR que, segundo Avanzi *et al.* (2008), é de ótima qualidade, indicando sua utilização para a estimativa da perda de solo nessa encosta. Os métodos de curva-chave apresentaram um NES pouco abaixo ao do método EUPS*SDR, mas enquadrando-se como de boa qualidade (AVANZI *et al.* 2008). Os métodos de curva-chave não são os mais indicados para EII devido a alta variabilidade na resposta hidrosedimentologica observada, promovida principalmente por sua cobertura vegetal e umidade do solo. Essa alta variabilidade dificilmente pode ser explicada somente pela relação entre o escoamento superficial e a perda de solo. Figueiredo (2011) só conseguiu explicar 75% dos escoamentos gerados em sua bacia de estudo quando levou em conta a umidade, a distribuição temporal da precipitação e a intensidade em sessenta minutos (I_{60}). Srinivasan; Santos; Galvão (2003) também observaram a influência da cobertura vegetal e da umidade antecedente sobre a perda de solo. Carvalho et

al (2009) e Santos (2009) observaram que o desenvolvimento da cobertura vegetal foi acompanhado pela redução da perda de solo. Os dois eventos expostos na Tabela 20 expressam bem essa instabilidade nos processos sedimentológicos na EII. Carvalho *et al.* (2007) observaram que a ausência de cobertura vegetal no solo, proporciona aumento da energia cinética de transporte de sedimentos na enxurrada, facilitando o escoamento superficial e a quebra dos agregados do solo. O método EUPS*SDR resultou em melhor coeficiente de NES na encosta degrada. Esse melhor desempenho do método se deve, possivelmente, à aplicação direta da equação apresentada pelo fator SDR*C (Figura 18b). A eficiência desse método poderia ser melhor se todos os dados de erosividade fossem obtidos de maneira direta, usando as equações 2 e 3.

Figura 28 – Reta da perda de solo medida *versus* a perda de solo estimada pelos métodos curva-chave de relação linear (CClin) e relação potencial (CCpot) e pelo método EUPS*SDR, com seus respectivos coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) – NES: (a) encosta em pousio, EI; e (b) encosta degradada, EII.



Na Tabela 22, está exposto o resultado da perda de solo anual estimada pelos três métodos. Na encosta em pousio, a perda de solo anual obtida pelos métodos apresentou menor

variação em comparação com a encosta degradada nos dois anos analisados. Isso indica que qualquer um dos métodos de estimativa da perda de solo anual na EI pode ser usado. Nesse trabalho foi adotada para fins de comparação com a encosta degradada e outros trabalhos a perda de solo estimada pelo método CClin. A escolha desse método se fez pelo critério do melhor valor obtido no coeficiente de NES (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Na encosta degradada houve alta variação nos resultados dos três métodos usados na predição da perda de solo anual no período estudado. Nesse caso, a escolha de qualquer um dos métodos para a estimativa da perda de solo anual pode proporcionar um erro maior da perda de solo na EII. De acordo com coeficiente de NES, o método EUPS*SDR foi o que apresentou melhor índice (NES = 0,78). Portanto, a perda de solo estimada por esse método foi usada para fins de comparação com a encosta em pousio e com outros trabalhos.

Tabela 22 – Perda de solo anual estimada (Mg ha^{-1}), para a encosta em pousio (EI) e para a encosta degradada (EII) através dos dois métodos de determinação da Curva-chave e o modelo EUPS*SDR e relação da diferença percentual entre o modelo EUPS*SDR com os métodos de curva-chave

Ano	EI			EII		
	EUPS*SDR	CClin	CCpot	EUPS*SDR	CClin	CCpot
2010	0,091	0,090	0,111	0,219	0,377	0,436
Diferença	-	-0,5%	23%	-	72%	99%
2011	0,327	0,317	0,383	0,776	1,312	1,550
Diferença	-	-3%	17%	-	69%	100%

Conclui-se, a partir do que foi exposto acima, que a perda de solo na encosta em pousio foi a determinada pelo método de CClin com NES de 0,97 que estimou em 0,09 Mg ha^{-1} e 0,32 Mg ha^{-1} a perda de solo, com precipitação 264 e 450 mm, no ano de 2010 e no período de 2011, respectivamente. Lobato *et al.* (2009), determinaram uma perda de solo de 0,09 Mg ha^{-1} em uma parcela com declividade média de 4,9%, composta praticamente por uma cobertura densa de gramíneas, apresentando poucas espécies de porte arbustivo-arbóreo num Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico, em Iguatu – Ce, em condições próximas a encosta em pousio. Valores próximos foram obtidos por Albuquerque *et al.* (2002): de 0,1 e 0,3 Mg ha^{-1} em parcelas experimentais com Caatinga e cobertura morta, respectivamente num período de oito anos (1983 – 1990) com precipitação média anual de 695mm, em Sumé, PB. Onda *et al.* (2007) obtiveram 0,02 Mg ha^{-1} numa encosta semiárida da Mongólia, com 70% de cobertura vegetal, isolada do pastejo de animais pelos dois anos de estudo (2003 e 2004) e pluviometria de 193 mm e 112 mm, respectivamente. Gómez *et al.* (2004) determinaram que a perda de solo anual foi de 1,2 Mg ha^{-1} em um sistema de produção de olivas em um solo

vértico, mantido com cobertura do solo, formada por gramíneas num período de três anos no sul da Espanha, com precipitação média de 665 mm.

Para a encosta degradada a perda de solo estimada usada para fins de comparação foi a determinada a partir do método EUPS*SDR, por apresentar o melhor coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970) (NES = 0,78). A perda de solo na EII foi de 0,22 Mg ha^{-1} e 0,77 Mg ha^{-1}, com precipitação 264 e 450 mm, no ano de 2010 e no período de 2011, respectivamente. Esse valor baixo de perda de solo determinado na EII para as condições do semiárido e pelo estado de degradação que o solo se encontra, possivelmente se deve ao baixo declive da encosta. Silva (2006) observou perdas de solo de 0,3 e 1,9 Mg ha^{-1} em duas áreas de pastagem (uma em boas condições e a outra degradada) sob três tipos de solo (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Cambissolo distrófico e Latossolo Vermelho Distrófico típico) no período de novembro de 2004 a junho de 2005. Os valores obtidos neste trabalho encontram-se na faixa observada por Silva (2006).

O comparativo da perda de solo entre as duas encostas, aponta que a encosta degradada (EII) produziu cerca de duas vezes e meia mais sedimentos que a encosta em pousio (EI) nos dois anos analisados, ou seja, a EI reduziu em 59% a perda de solo. Este resultado confirma que o aumento da cobertura do solo, da serrapilheira e do teor de matéria orgânica promove a redução do escoamento superficial e da perda de solo. Albuquerque *et al.* (2002) observaram redução de 99% da perda de solo na parcela de Caatinga nativa em relação a parcela desmatada, em Sumé – PB. Inácio *et al.* (2007), ao estudarem a perda de solo em diferentes declives com e sem cobertura do solo por pastagem, em parcelas experimentais com chuvas simuladas, determinaram uma redução de cerca de 90% em todas as parcelas com cobertura nos diferentes declives. Martins *et al.* (2003), determinaram uma redução de mais de 93% na perda de solo, comparando uma parcela de mata nativa em relação à parcela com plantio de eucalipto e outra com solo descoberto, em três diferentes tipos de solo, num período de quatro anos em Aracruz – ES. Onda *et al.* (2007), estudando duas parcelas situadas na encosta de microbacias semiáridas na Mongólia, determinaram uma redução de 94% da perda de solo na microbacia com 70% de cobertura vegetal em relação a outra com 30% de cobertura. Assim como Freitas *et al.* (2008), no semiárido de Pernambuco; Gómez *et al.* (2004) em uma plantação de oliva em Córdoba na Espanha; Wei *et al.*(2007) estudando o efeito de três regimes de chuva no semiárido da China.

5 CONCLUSÃO

Com base nas avaliações realizadas ao longo de 16 meses em duas encostas semiáridas (uma em pousio e outra degradada), foi possível concluir que:

- ✓ As chuvas da região demonstraram elevada variabilidade espacial. Foi observada diferença estatística, em nível de significância de 5%, entre os dois pluviômetros *Ville de Paris* instalados nas duas encostas, embora os mesmos estejam a uma distância de apenas 200 m.

- ✓ O padrão hidrológico das chuvas na região é de intermediário a atrasado (70% dos eventos, sendo 40% atrasadas, isto é, concentradas no último terço).

- ✓ Os dez anos de prática de pousio promoveram 68% de redução do escoamento superficial em relação à encosta degradada.

- ✓ A menor precipitação capaz de gerar escoamento superficial na encosta degradada foi de 7,2 mm. Já na encosta em pousio, esse valor foi quase 20% superior (8,6 mm). A análise demonstra que houve incremento de abstração inicial (maior capacidade de retenção de umidade) da encosta preservada. Esse incremento é resultado das alterações na interceptação vegetal, na formação de serrapilheira e nas alterações da camada superficial do solo na área em recuperação.

- ✓ A maior precipitação que não consegue gerar escoamento superficial foi a mesma nas duas encostas: 17 mm. Isso possivelmente ocorre porque o parâmetro dominante nesse processo é a estrutura do solo.

- ✓ A taxa de decaimento da vazão de 0,107 min^{-1} na encosta degradada, decaiu para 0,045 min^{-1} na encosta em pousio. Essa menor taxa favorece a permanência da água no corpo hídrico, característica de grande relevância para regiões semiáridas com rios intermitentes e/ou efêmeros.

- ✓ Os dez anos da prática de pousio foram capazes de reduzir a perda de solo em cerca de 80%, quando comparada com a encosta degradada. Essa redução induz à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, responsáveis pelo incremento da produção vegetal.

Por fim, conclui-se que os dez anos de pousio foram capazes de melhorar as características hidrológicas e sedimentológicas da encosta semiárida. Essa melhora foi de tal monta que sua diferença pôde ser medida na quase totalidade dos parâmetros analisados. Portanto, o pousio pode ser adotado para recuperação de áreas de Caatinga degradada. Entretanto, sugere-se que se façam outras investigações, nas quais se avaliem a associação do pousio com outras práticas, com o intuito de intensificar o processo de recuperação.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10703**: Degradação do solo. São Paulo, 1989.

ACCIOLY, L. J. O. *et al*. Avaliação de alvos em áreas sob desertificação no semi-árido paraibano com base nos sensores Hyperion e LANDSAT 7 ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 347-353.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissolo em Sumé (PB). **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 25, n. 1, p. 121-128, 2001.

ALBUQUERQUE, A. W. *et al*. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande – PB, v.6, n.1, p.136-141, 2002.

ALBUQUERQUE, A. W. *et al*. Determinação de fatores da equação de perda de solo nas condições de Sumé, PB. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.

ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma encosta hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 103-112, 2006.

AMORIM, R. S. S. *et al*. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, nov./dez., 2010.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas Terras Secas do Estado do Piauí. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006.

AQUINO, D. N. *et al*. Estimativa do escoamento superficial em encosta do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. **Rev. Tecnol.,** Fortaleza, v. 29, n. 1, p. 37-45, jun., 2008.

AQUINO, D. N. *et al*. Aplicação da USLE e SIG na estimativa da perda de solos em uma micro bacia hidrográfica do semi-árido do Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: CONBEA, 2007. 4 p.

ARAÚJO, J. C. Entropy-based equation to assess hillslope sediment production. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 2005-2018, 2007.

ARAÚJO, J. C. Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação. **Rev. Bras. de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 39-56, abr./jun., 2003.

ARAÚJO, J. C.; PIEDRA, G. J. I. Comparative hydrology: semiarid and humid tropical watershed**. Hydrol. Process**, v. 23, p. 1169-1178, 2009.

AUERSWALD, K.; HAIDER, J. Runoff Curve Numbers for Small Grain Under German Cropping Conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 47, p. 223–228, 1996.

AVANZI, J. C. *et al*. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 563-569, 2008.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007.

BERTONI, J. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinados em função das perdas por erosão. **Bragantina**, Campinas - SP, v. 18, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990. 335 p.

BHATT, R.; KHERA, K.L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. **Soil & Tillage Research**, v. 88, p. 107-115, 2006.

BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspenção na bacia do rio Descoberto.** 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

BOER, M.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Effects of spatially structured vegetation patterns on hill-slope erosion in a semiarid Mediterranean environment: a simulation study. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p. 149-167, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca PAN-BRASIL.** 2004. 220 p.

BRITO, L. T. L. *et al*. Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação in situ no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 507-515, jul./set., 2008.

CANTÓN, Y. *et al*. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. **Journal of hydrology**, v. 252, p. 65-84, 2001.

CARDOSO, A. H. **Hidráulica fluvial.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian,1998. 314 p.

CARLESSO, R. *et al*. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1020-1026, 2011.

CARVALHO, D. F. *et al*. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F. *et al*. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CARVALHO, D. F. *et al*. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática.** 2. ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 326 p.

CARVALHO, R. *et al*. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais**. Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1679-1687, nov./dez., 2007.

CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Effects of livestock removal and perennial grass recovery on the lizards of a desertified arid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 66, p. 87-95, 2006.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. **Caderno regional da bacia do Litoral:** Conselho de altos estudos e assuntos estratégicos. (Cord.) SANTANA, E. W. Fortaleza: INESP, 2009. 96 p. (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 8)

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE.** Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372 p.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology.** Singapura: McGRAWHILL International Editions: Civil Engineering Series, 1988. 572 p.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COHEN, M. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. **Geoderma**, v. 124, p. 235-252, 2005.

COSTA, A. C. **Hidrologia de uma bacia experimental em Caatinga conservada no Semi-árido Brasileiro.** 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

CRUZ, E. S. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, 2006.

CUNHA, T. J. F. *et al*. Uso atual e quantificação de áreas degradadas na margem do rio São Francisco no município Petrolina-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009. 4 p. CD-ROM.

CURI, N. *et al*. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: SBCS, 1993. 90 p.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (Ce). I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 27, p. 335-345, 2003.

DIAS, R. L. F. **Intervenções públicas e a degradação ambiental no semi-árido cearense. O caso de Irauçuba.** 1998. 139 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

ROMERO-DIAZ, A.; BELMONTE-SERRATO, F.; RUIZ-SINOGA, J. D. The geomorphic impact of afforestations on soil erosion in Southeast Spain. **Land Degradation & Development**. v. 21, p. 188-195, 2010.

DUQUE, J. G. **O Nordeste e as Lavouras Xerófilas.** 4. ed. Fortaleza: BNB-ETENE, 2004. 330 p.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 25, p. 485-493, 2001.

EMBRAPA SOLOS. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação.** Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2008. 228p. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008.pdf>. Acesso em: nov. 2009.

FARIAS, T. R. L.; COSTA, A. C. ; ARAÚJO, J. C. Produção de sedimentos em uma bacia experimental do semi-árido: medida e modelagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. 14 p. CD-ROM.

FERNANDES, L. **Processo hidrossedimentológico na bacia do açude Acarape do Meio, Ceará.** 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

FIGUEIREDO, J. V. **Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada.** 2011. 82 f. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FOSTER, G. R. *et al*. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **J. Soil and Water Cons.**, Ankeney, Iowa, v. 36(6), p. 355-359, 1981.

FREITAS, F. J. *et al*. Erosão em entressulcos sob Caatinga e culturas agrícolas. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1743-1751, 2008.

FU, B. J. *et al*. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. **Land Degradation & Development**, v. 16, p. 73-85, 2005.

FUNCEME. ***Download* de Séries Históricas:** Irauçuba - Posto de Irauçuba. 2011. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>. Acesso em: maio 2011.

GAISER, T.; FERREIRA, L. G. R.; STAHR, K. General view of the WAVES Program. In: GAISER, T.; KROL, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. **Global Change and Regional Impacts**. Berlin: Springer Verlag, 2003. Introduction, p. 1-18.

GARCÍA, B. L.; ALCÁNTARA, L. P. Erosión actual y potencial en suelos ácidos del Sur de España. **Terra Latinoamericana**,v.29, n.1, p.35-46, 2011. Disponível em: <http://www.smcs.org.mx/pdf/terra/29-1/35-46.pdf>. Acesso em: jul. 2011.

GÓMEZ, J. A. *et al.* Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. **Soil Use and Management**, v. 19, p. 127-134, 2003.

GÓMEZ, J. A.; FERERES, E. (s/d). **Medida y predicción la erosión y escorrentía en olivar bajo diferentes sistemas de manejo de suelo.**4p. Disponível em: <http://www.inia.es/gcontrec/pub/98015_1065008480609.pdf>. Acesso em: maio 2011.

GÓMEZ, J. A. *et al.* Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management. **Soil Use and Management**, v. 20, p. 426-431, 2004.

GUEDES, D. S. *et al.*Ocorrência e qualidade do capim panasco (*Aristida adscensionis l.*) em áreas de Caatinga no cariri paraibano. In: CONGRESSO ZOOTEC, 6., 2008, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB/ABZ, 2008. 4p. Disponível em: < http://www.abz.org.br/publicacoes-tecnicas/anais-zootec/artigos-cientificos/forragicultura-pastagens/23607-Ocorrncia-qualidade-capim-Panasco-Aristida-adscensionis-reas-Caatinga-cariri-Paraibano1.html>. Acesso em: jul. 2011.

GUMBO, B. *et al.*Coupling of digital elevation model and rainfall-runoff model in storm drainage network design. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, p. 755-764, 2002.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments.** Academic Press., 1993. 588 p.

HUANG, D.; WANG, K.; WU, W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 70, p. 120-136, 2007.

HUSSEIN, M. H. An analysis of rainfall, runoff and erosion in the low rainfall zone of northern Iraq. **Journal of Hydrology**, v. 181, p. 105-126, 1996.

IBESA. Implantação de Bacias Experimentais no Semi-Árido. **Relatório de atividades 2004**. Natal, Rede de Hidrologia do Semi-Árido(REHISA): Projeto: FINEP/FUNPEC, 2004. 291 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Estabelecimentos e área da agricultura familiar.** 2006. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_2006/agri_familiar_2006/>. Acesso em: out. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Canal Estados@: Primeiros resultados do Censo 2010.** 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ce;tema=censo2010_primeiros_resultados>. Acesso em: mar. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Canal Cidades@: Primeiros resultados do Censo 2010.** 2010b. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=ce >. Acesso em: mar. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Canal Cidades@: Lavouras temporária, permanente e pecuária e o PIB dos munícipios.** 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: out. 2010.

INÁCIO, E. S. B. *et al.*Erosão hídrica em agroflorestal na região Sul da Bahia. **Pesquisa Agrícola Bahia Agríc.**, v. 7, n. 1, p. 75-78, set., 2005.

INÁCIO, E. S. B. *et al.* Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na encosta do Ribeirão Salomea. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 355-360, 2007.

IRAUÇUBA. **Política Municipal de Combate e Prevenção à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.** Lei N° 645/2009 de 17 de junho de 2009. Disponível em: <://www.mediafire.com/?mkwlqj5tmhz >. Acesso em: jun. 2011.

JHA, V. C.; KAPAT, S. Rill and gully erosion risk of lateritic terrain in South-Western Birbhum District, West Bengal, India. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21(2), p. 141-158, ago., 2009.

KHANBILVARDI, R. M.; ROGOWSKI, A. S. Quantitative evaluation of sediment delivery ratios. **Water Resources Bulletin**, AWRA, v. 20(6), p. 865-874, 1984.

KIRKBY, M. J. **Hillslope hydrology**. John Wiley. 1978. 389 p.

KOTTEGODA, N. T.; NATALE, L.; RAITERI, E. Statistical modelling of daily streamflows using rainfall input and curve number technique. **Journal of Hydrology**, v. 234, p. 170-186, 2000.

LEITE, F. R. B.; SOARES, A. M. L.; MARTINS, M. L. R. Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará – 2ª aproximação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, PR, 1993. p. 156-161.

LIMA NETO, I. E.; WIEGAND, M. C.; ARAÚJO, J. C. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. **Hydrological Sciences Journal**, v.56, p.319-333. 2011

LIMA, Y. C. P. **Análise do assoreamento de um pequeno reservatório: Estudo de caso Açude Boqueirão, Aiuaba, Ceará.** 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

LI, S. G. *et al.* Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, p. 125-137, 2000.

LI, X. R.; JIA, X. H.; DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 505-522, 2006.

LOBATO, F. A. O. *et al.* Perdas de solo por erosão hídrica para diferentes alturas pluviométricas em área de Caatinga cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CBCS, 2009. 4 p. CD-ROM.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOPES, F. B. *et al.* Estimativa da erosividade das chuvas (R) no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37., 2009, Juazeiro-BA/Petrolina-PE. **Anais...** Juazeiro-BA/Petrolina-PE: CONBEA, 2009. 5 p.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Quantidade de recursos hídricos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, RS: ABRH, 2001, cap. 19, p. 531-566.

MARTINS, S. G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 27, p. 395-403, 2003.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre os solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES.** 2005. 106 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – UFLA, Lavras, 2005.

MATALLO JUNIOR, H. A Desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. **Desertificação**. UNESCO, 1999, 2003. p. 9-25.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília: UNESCO, 2001. 80 p.

MAZURANA, J. *et al.* Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, p. 975-983, 2009. (Suplemento)

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 40, n. 2, p. 165-174, abr./jun., 2009.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; MAMEDE, G. L. Padrão espacial da produção de sedimentos em bacias hidrográficas: o caso do Benguê, Ce. In: In: IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RIBEIRO, M. L. **Produção de Sedimentos e seus Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos**. Campo Grande, MS: Oeste, 2009. p. 337-356.

MEDEIROS, P.H.A. *et al.* Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. **Hydrological Sciences Journal**, v. 55, p. 636-648, 2010.

MEHL, H. U. *et al.* Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 25, p. 475-483, 2001.

MELLO, C. R. *et al.* Abstração inicial da precipitação em encosta hidrográfica com escoamento efêmero. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.

MESQUITA, R. C. M. *et al.* Manejo de pastagem nativa para caprinos. In: SIMPOSIO NACIONAL DE CAPRINOS E OVIDOS TROPICAL, 1., 1981, Sobral. **Anais…** Sobral–CE: CNPC/EMBRAPA, 1981.

MICHAELIDES, K. *et al.* Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment. **Hydrol. Processes**, v. 23, p. 1617–1630, 2009.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento.** SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994. 193 p.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife-PE: SUDENE-DPG-PRN-DPP-APR, 1992. 523 p.

MORENO-DE LAS HERAS, M.; MERINO-MARTÍN, L.; NICOLAU, J.M. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. **Catena**, v. 77, p. 39-47, 2009.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir Sedimentation Handbook.** New York: McGraw-Hill Book Co., 1998. 782 p.

MUNIZ, A. C. F.; OLIVEIRA, J. G. B. Condicionantes naturais e sócioeconômicos da desertificação nos trecho médio e baixo do vale do rio Jaguaribe no estado do Ceará. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. 12 p.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models – Part I: A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

NICOLAU, J .M. *et al.* Effects of soil and vegetation on runoff along a catena in semi-arid Spain. **Geomorphology**, v. 14, p. 297-309, 1996.

NOLÊTO, T. M. S. J. **Susceptibilidade Geoambiental das Terras Secas da Microrregião de Sobral/CE à desertificação.** 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005.

OLDEMAN, L. R. The global extent of land degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. **Land resilience and sustainable land use**. Wallingford: CABI, 1994. p. 99-118.

ONDA, Y. *et al.* Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia. **Journal of Hydrology**, v. 333, p. 124-132, 2007.

PANACHUKI, E. *et al.* Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PESSOA, C. D. S. **Banco de sementes no solo em uma área de Caatinga em regeneração, núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará.** 2008 45 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering,** v. 1(1), p. 11-19, 1996.

PREVIATI, M. *et al.* Evaluation of soil water storage efficiency for rainfall harvesting on hillslope micro-basins built using time domain reflectometry measurements. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 449-456, 2010.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento Superficial.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 25, p. 403-410, 2001.

RENARD, K.G. *et al.* **Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Waschington: USDA/ARS, 1997. 384 p. (Agriculture Handbook, 703)

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

RODRIGUES, J. O. **O uso da terra e a resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas.** 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

RODRIGUES, V. *et al.* **Avaliação do quadro de desertificação no Nordeste do Brasil: diagnósticos e perspectivas.** Fortaleza: Fundação Grupo Esquel, ICID, 1992. Disponível em: <http://www.icid18.org/arquivos/volume8_pt.pdf>. Acesso em: set. 2011.

ROMKENS, M. J. M.; PRASAD, S. N.; PROESEN, J. W. A. Soil erodibility properties. In: CONGRESS OF THE ISSS, 8., 1987, Hamburg. **Anais…** Hamburg: 1987. p. 492-503.

ROMKENS, M. J. M. *et al.* Soil Erodibility factor (K) (Eq. 3-5). In: RENARD, K.G. *et al.* **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Washington: USDA/ARS, 1997. (Agriculture Handbook, n.703)

SALES, M. C. L. **Estudos climáticos, morfo-pedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará.** 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A. J. A. **Litoral e Sertão.** Fortaleza, CE: Expressão gráfica, 2006, p. 223-232.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Monitoramento da recuperação da vegetação e solos no núcleo de desertificação de Irauçuba, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005. p. 5874-5884.

SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202 p.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P. ; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115–123, 2010.

SANTOS, J. C. N. **Erosão laminar em microbacia com cobertura herbácea no semi-árido cearense.** 2009. 71 f. Monografia (Graduação em Irrigação e Drenagem) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Iguatu, 2009.

SCHICK, J. *et al.* Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Rev. Bras. de Ciências do Solo**, v. 24, p. 437-447, 2000.

SEQUINATTO, L. *et al.* Quantidade de sedimentos escoados durante eventos chuvosos numa microbacia rural. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: 2006. 4 p.

SERIO, J. *et al.* E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três microbacias hidrográficas no Brasil. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 213-221, abr./jun., 2008.

SHI, Z. H. *et al.* Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, v. 77, p. 1-7, 2009.

SHIRAZI, M. A.; BOERSMA, L. A. A unifing quantitative analyses of soil texture. **Soil Science Society of America Proceedings**, Las Vegas, v. 48, n. 1, p. 142-147, 1984.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map of Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, E. J. **Caracterização hidrogeológica de bacias hidrográficas do semiárido baiano através de técnicas de geoprocessamento.** 2009. 142 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA. J. R. C. **Erodibilidade dos solos do Ceará: distribuição espacial e avaliação de métodos de determinação**. (1ª Aproximação). 1994. 60 f. Tese (Professor Titular) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1994.

SILVA, J. M. C. *et al.* Fatores abióticos. In: _____. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Parte 1, p. 15-37.

SILVA, A. M. *et al.* Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez., 2005.

SILVA, P. M. O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG.** 2006. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias.** Campina Grande: DEC/CCT/UFPG, 2001. 270p.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos erosivos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre – RS: ABRH, 2001. cap. 10, p. 280-294.

SLIMANI, H.; AIDOUD, A.; ROZE. F. 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 685-691, 2010.

SOUSA, F. P. **Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba.** 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: A experiência na Bacia Experimental de Sumé. RBRH – **Rev. Bras. de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 57-73, abr./jun., 2003.

SU, Y. Z. *et al.* Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil & Tillage Research**. v. 75, p. 27-36, 2004.

TASSI, R. *et al.* Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do arroio dilúvio - Porto Alegre/RS. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 1., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006. 13 p.

TERRANOVA, O. *et al.* Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). **Geomorphology**, v. 112, p. 228-245, 2009.

TERZOUDI, C. B. *et al.* Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. **Soil &Tillage Research**, v. 92, p. 198-212, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 944p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428 p.

TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BRAZIER, R. E. Hydrology, erosion and nutrient transfers over a transition from semi-arid grassland to shrubland in the South-Western USA: A modelling assessment. **Journal of Hydrology**, v. 388, p. 258-272, 2010.

UNITED NATIONS. **Convenção internacional para o combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação particularmente na África.** Brasília: MMA, 1997. 78 p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **O deserto brasileiro.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 1974.

VALONE, T. J.; SAUTER, P. Effects of long-term cattle enclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site. **Journal of Arid Environments**, v. 61, p. 167-170, 2005.

VESTENA, L. R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem.** 2008. 268 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology,** v. 65, p. 209-237, 1983.

WEI, W. *et al.* The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 247-258, 2007.

WIEGAND, M.C.; LIMA, Y.C.P.; ARAÚJO, J.C. Produção de sedimentos na bacia experimental de Aiuaba, CE: Validação do modelo empírico HIDROSED-1. In: IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RIBEIRO, M. L. **Produção de Sedimentos e seus Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos**. Campo Grande, MS: Oeste, 2009. p. 319-336.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 23, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction, American Geophysical Unin.** v. 39, n. 2, p. 258-280, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978, 58p.(Agriculture Handbook, nº 537)

YOUNG, D. F.; CARLETON, J. N. Implementation of a probabilistic curve number method in the PRZM runoff model. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, p. 1172-1179, 2006.

YONG-ZHONG, S. *et al.* Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northem China. **Catena**, v. 59, p. 267-278, 2005.

ZHOU, G. Y. *et al.* Hidrological impacts of reforestation with eucalyptus end indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v. 167, n. 1/3, p. 209-222, aug., 2002.

ANEXO A – Precipitação, perda de solo, escoamento superficial e potencial de arraste de sedimento medido e modelado no ano de 2010 e 2011.

Datas das chuvas, volume precipitação captado pelo pluviômetro *Ville de Paris*, (P) perda de solo, (P.S) escoamento superficial, (H) e potencial de arraste de sedimento, (PAS) determinados na encosta em pousio e na encosta degrada, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2010.

2010								
Data	Encosta em pousio, EI[1]				Encosta degradada, EII[2]			
	P (mm)	P.S (kg ha^{-1})	H (mm)	PAS (kg ha^{-1} mm^{-1})	P (mm)	P.S (kg ha^{-1})	H (mm)	PAS (kg ha^{-1} mm^{-1})
2/1/10	3,0				3,0			
3/1/10	5,2				5,4			
9/1/10	0,3				0,2			
12/1/10	3,0				2,2			
13/1/10	5,2				5,1			
19/1/10	16,0	0,07	0,01	5,7	17,0			
20/1/10	2,2				2,0			
26/1/10	16,0	0,09	0,01	6,9	17,0	0,04	0,01	5,9
27/1/10	10,0				9,9			
15/2/10	7,8				7,0			
4/4/10	31,5	1,03	0,16	6,3	32,5	7,18	1,66	4,3
10/4/10	12,2				11,6			
12/4/10	6,6				5,9			
16/4/10	4,8				5,9			
17/4/10	5,0				4,6			
20/4/10	8,0				7,0			
22/4/10	9,3				9,5			
23/4/10	2,5				3,9			
1/5/10	13,5	0,35	0,05	7,7	12,6	1,32	0,11	12,1
2/5/10	**41,5**	**36,96**	**7,76**	**6,3**	**41,3**	**127,92**	**14,05**	**9,1**
5/5/10	**30,5**	**51,57**	**10,87**	**3,7**	**30,1**	**80,30**	**15,37**	**5,2**
22/10/10	4,3				3,8			
23/10/10	7,0				7,7			
13/12/10	8,8				8,4			
17/12/10	4,4				4,1			
TOTAL	258,6	90,1	18,9	-	257,7	216,8	31,2	-
Média	10,3	15,0	3,1	6,1	10,3	43,4	6,2	7,3
D.P	10,1	23,1	4,9	1,4	11,8	58,0	7,8	3,2
C.V	98%	154%	155%	22%	115%	134%	125%	44%

Em **negrito**, eventos modelados para determinação do escoamento superficial (método SCS) e da perda de solo (Método da curva-chave e da EUPS*SDR);

[1] Perda de solo estimada pelo método de curva-chave com equação linear;

[2] Perda de solo estimada pelo método da EUPS*SDR.

Datas da chuvas, volume precipitação captado pelo pluviômetro *Ville de Paris*, (P) perda de solo, (P.S) escoamento superficial, (H) e potencial de arraste de sedimento, (PAS) determinados na encosta em pousio e na encosta degrada, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce, 01 de janeiro a 15 de abril de 2011.

2011								
Data	Encosta em pousio, EI[1]				Encosta degradada, EII[2]			
	P (mm)	P.S (kg ha^{-1})	H (mm)	PAS (kg ha^{-1} mm^{-1})	P (mm)	P.S (kg ha^{-1})	H (mm)	PAS (kg ha^{-1} mm^{-1})
10/1/11	19,1	0,14	0,14	9,2	18,8	1,25	0,11	11,5
19/1/11	24,7	0,15	0,15	7,5	23,5	8,95	0,83	10,8
22/1/11	10,7				11,4	0,22	0,05	4,6
23/1/11	8,2				8,2			
24/1/11	15,5	0,12	0,12	7,5	15,1	9,02	0,97	9,3
25/1/11	**44,4**	**100,82**	**21,35**	**4,4**	**41,3**	**142,47**	**25,01**	**5,7**
28/1/11	4,4				3,1			
29/1/11	5,1				4,2			
2/2/11	18,2	0,25	0,25	16,1	18,4	108,90	4,26	25,5
4/2/11	3,3				4,1			
19/2/11	11,8				10,2			
20/2/11	10,9	0,19	0,19	5,2	10,2	6,46	0,79	8,2
22/2/11	3,9				5,1			
24/2/11	3,6				2,7			
25/2/11	8,6	0,14	0,14	7,3	7,2	1,48	0,17	8,7
26/2/11	**33,2**	**19,94**	**4,13**	**6,1**	**34,4**	**89,52**	**9,61**	**9,3**
27/2/11	18,6	4,14	4,14	4,7	17,2	51,67	6,65	7,8
28/2/11	6,3				5,4			
1/3/11	4,9				5,1			
7/3/11	6,3				7,2			
8/3/11	8,1				7,3			
10/3/11	4,9				5,8			
11/3/11	18,1	0,30	0,30	5,0	19,2	7,43	0,63	11,9
16/3/11	24,3	1,29	1,29	6,2	23,2	30,91	1,82	16,9
26/3/11	7,1				6,3			
28/3/11	6,3				5,4			
10/4/11	14,2				15,6			
12/4/11	21,2	**3,45***	0,6	19,4	20,8	**17,59***	0,6	27,4
13/4/11	**38,4**	**78,69**	**16,6**	**3,7**	**39,2**	**129,76**	**23,2**	**5,6**
14/4/11	**46,2**	**107,65**	**22,8**	**4,2**	**45,1**	**166,65**	**28,4**	**5,9**
TOTAL	450,5	317,3	72,3	-	440,7	772,3	103,1	-
Média	15,0	22,7	5,2	7,6	14,7	51,5	6,9	11,3
D.P	12,1	40,4	8,4	4,6	11,9	59,3	10,1	6,9
C.V	81%	178%	163%	61%	81%	115%	147%	61%

Em **negrito**, eventos modelados para determinação do escoamento superficial (método SCS) e da perda de solo (Curva-chave e Modelo EUPS*SDR);

* Modelagem apenas da perda de solo;

[1] Perda de solo estimada pelo método de curva-chave com equação linear;

[2] Perda de solo estimada pelo método da EUPS*SDR.

ANEXO B – Dados da Avaliação da Modelagem da perda de solo da encosta em pousio e da encosta degradada

Resultados obtidos pela modelagem da perda de solo, através do método da curva-chave (equação de relação linear e equação de relação potencial) e do método EUPS*SDR e sues respectivos coeficientes de Nash e Suttclif (1970) - NES.

Encosta em pousio, EI (kg ha^{-1})

DATA	CClin[1] (NES=0,97)	EUPS*SDR (NES=0,65)	CCpot[2] (NES=0,87)	P.S[3] obtida
19/1/10	0,59	0,00	0,10	0,07
26/1/10	0,59	0,00	0,10	0,09
4/4/10	1,29	3,28	1,12	1,03
1/5/10	0,75	0,31	0,33	0,35
10/1/11	1,19	0,77	0,98	1,28
19/1/11	1,24	1,33	1,06	1,15
24/1/11	1,10	1,18	0,86	0,92
2/2/11	1,70	4,21	1,71	4,03
20/2/11	1,41	1,19	1,30	0,98
25/2/11	1,19	0,86	0,98	1,03
27/2/11	19,98	13,85	25,63	19,50
11/3/11	1,96	4,70	2,07	1,51
16/3/11	6,58	16,55	8,31	7,96
TOTAL	**39,57**	**48,21**	**44,53**	**39,90**

Encosta degradada, EII (kg ha^{-1})

Data	CClin[1] (NES=0,63)	EUPS*SDR (NES=0,80)	CCpot[2] (NES=0,59)	P.S[3] obtida
26/1/10	1,02	0,00	0,07	0,04
4/4/10	21,77	51,40	17,18	7,18
1/5/10	2,29	1,05	1,08	1,32
10/1/11	2,29	0,87	1,09	1,25
19/1/11	11,31	10,49	8,48	8,95
22/1/11	1,52	0,00	0,47	0,22
24/1/11	13,02	12,99	9,90	9,02
2/2/11	54,35	104,02	44,61	108,90
20/2/11	10,79	6,53	8,05	6,46
25/2/11	3,06	1,15	1,71	1,48
27/2/11	84,21	28,61	69,96	51,67
11/3/11	8,78	15,37	6,39	7,43
16/3/11	23,79	31,68	18,87	30,91
TOTAL	**238,20**	**264,17**	**187,87**	**234,82**

[1] CClin – método de curva-chave de equação linear; [2] CCpot - método de curva-chave de equação potencial; [3] P.S – perda de solo medida em campo.

ANEXO C – Descrição dos equipamentos instalados nas duas encostas de estudo

Descrição dos equipamentos instalados nas duas encostas monitoras no período de 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – Ce.

- Dois pluviômetros *Ville de Paris*, mod. PLM-3, fabricado pela JCTM em aço inox com capacidade de 125 mm, com área de capitação de 400 cm^2 e comprimento de 630 mm, que acompanha proveta graduada em polietileno com capacidade de 10 mm e divisão de escala de 0,1mm e peneira. Instalados um em cada encosta;
- Pluviômetro de Báscula automático com Sensor Pluviométrico, mod. SP-3, fabricado pela JCTM, de aço inox com Resolução de 0.285 mm, com área de captação de 400 cm² com saída de Pulso, com armazenamento dos dados em um *datalogger* alimentado por uma bateria de 9 V, recarregada por um painel solar. Instalado numa residência próxima ao local das duas encostas à cerca de 700 m;
- Dois sistemas de captação de água e sedimento. Instalados um em cada exutório da encosta e são compostos por:
    - EI – Uma *Calha Parshall* de fibra de vidro com diâmetro da garganta de 6”, com vazão aproximada de 200 m^3 h^{-1} e duas caixas d’água de 1000 L com o seguinte arranjo: a primeira caixa possui oito saídas, com uma delas fazendo a ligação com o segundo tanque. Assim, após o enchimento do primeiro tanque, 1/8 do escoamento superficial da área é canalizado para a segunda caixa. Esse sistema permite obter um volume representativo de até 8.900 litros (3,56 mm).
    - EII – Uma *Calha Parshall* de fibra de vidro com diâmetro da garganta de 6”, com vazão aproximada de 200 m^3/h; duas caixas d’água de 1000 L e mais uma de 250 L com seguinte arranjo: o primeiro tanque possui dez saídas, assim, após o enchimento do primeiro tanque (1000 L), 1/10 do escoamento superficial é canalizado para o segundo tanque (250 L), que possui oito janelas (1/8) que uma vez cheio, o excedente é conduzido para a terceira caixa de 1000 L. Esse sistema permite obter um volume representativo de até 11.300 litros

ANEXO D – Evolução da cobertura vegetal na encosta degradada no período de estudo

(a) (b)

(c) (d)

Acompanhamento da evolução da **c**obertura vegetal na encosta degradada – EII: (a) em janeiro de 2010 no início do período chuvoso; (b) em abril de 2011 no final do período de chuvoso; (c) em janeiro de 2011 no início do período chuvoso e (c) 28 de abril de 2011 no final do período de chuvoso.