

PERDAS DE SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DO SEMI-ÁRIDO

<https://doi.org/10.4215/rm2022.e21020>

José Falcão Sobrinho ^{a*} - Francisca Edineide Lima Barbosa ^b

(a) Doutorado em Geografia. Professor da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Fortaleza (CE), Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7399-6502>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/1116969589809299>.

(b) Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1342-8263>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/1886939214378140>.

Article history:

Received 24 November, 2021

Accepted 08 July, 2022

Published 15 October, 2022

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: UVA. Av. da Universidade, 855, CEP:62100000, Sobral (CE), Brasil. Tel: (+55 38) 98831-3917.

E-mail: falcao.sobral@gmail.com

Resumo

Perdas de solos causadas pela erosão, são um problema mundial que traz impactos ambientais e econômicos significativos e reduz as terras agricultáveis. Práticas conservacionistas dos solos, são alternativas eficientes para reduzir a erosão e manter a produtividade das culturas. Objetivou-se comparar as perdas de solos por erosão hídrica em diferentes manejos agrícolas em uma comunidade rural do semiárido cearense. O delineamento usado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial (Tratamento x período), sendo composto por quatro tratamentos: CNCP - Plantio da graviola em Curvas de Nível associadas a cordões de pedra; MACV - Plantio da graviola morro abaixo, mantendo-se a cobertura do solo; CN - Plantio da graviola em curva de Nível e MASV - Plantio da graviola morro abaixo, ausente de cobertura do solo, com o período representado pelas datas de coletas das variáveis. Foram analisados a altura e diâmetro das gravioleiras; a umidade do solo; precipitação e declividade. O manejo conservacionista CNCP foi o que proporcionou menores perdas de solos, enquanto o MASV as maiores perdas, sugerindo que a implementação de práticas conservacionistas na agricultura do semiárido, reduz as perdas de solos por erosão hídrica e contribui para a sustentabilidade da produção agrícola em áreas rurais do semiárido cearense.

Palavras-chave: Erosão Hídrica, Runoff, Degradação Do Solo, Práticas Conservacionistas Do Solo.

abstract / Resumen

SOIL LOSSES IN AGRICULTURAL AREA OF THE SEMI-ARID

Soil losses caused by erosion are a worldwide problem that brings significant environmental and economic impacts and reduces arable land. Soil conservation practices are efficient alternatives to reduce erosion and maintain crop productivity. The objective was to compare soil losses by water erosion in different agricultural managements in a rural community in the semi-arid region of Ceará. The design used was completely randomized with a factorial scheme (Treatment x period), consisting of four treatments: CNCP - Graviola planting in contour lines associated with stone strings; MACV - Graviola planting downhill, keeping the ground cover; CN - Graviola planting in a contour curve and MASV - Graviola planting downhill, without ground cover, with the period represented by the dates of collection of variables. The height and diameter of soursop trees were analyzed; soil moisture; precipitation and slope. The CNCP conservation management provided the lowest soil losses, while the MASV the highest losses, suggesting that the implementation of conservation practices in semi-arid agriculture reduces soil losses from water erosion and contributes to the sustainability of agricultural production in areas rural areas in the semi-arid region of Ceará.

Keywords: Water Erosion, Runoff, Soil Degradation, Soil Conservation Practices.

PÉRDIDAS DE SUELO EN ÁREA AGRÍCOLA DEL SEMIÁRIDO

Las pérdidas de suelo causadas por la erosión son un problema mundial que trae consigo importantes impactos ambientales y económicos y reduce la superficie cultivable. Las prácticas de conservación de suelos son alternativas eficientes para reducir la erosión y mantener la productividad de los cultivos. El objetivo fue comparar las pérdidas de suelo por erosión hídrica en diferentes manejos agrícolas en una comunidad rural de la región semiárida de Ceará. El diseño utilizado fue completamente al azar con esquema factorial (Tratamiento x período), compuesto por cuatro tratamientos: CNCP - Siembra de Graviola en curvas de nivel asociada a hilos de piedra; MACV - Siembra de Graviola cuesta abajo, manteniendo la cobertura del suelo; CN - Siembra de Graviola en curva de nivel y MASV - Siembra de Graviola cuesta abajo, sin cobertura del suelo, con el período representado por las fechas de recolección de variables. Se analizó la altura y diámetro de árboles de guanábana; la humedad del suelo; precipitación y pendiente. La gestión de conservación del CNCP fue la que proporcionó las menores pérdidas de suelo, mientras que el MASV las mayores pérdidas, lo que sugiere que la implementación de prácticas de conservación en la agricultura semiárida reduce las pérdidas de suelo por erosión hídrica y contribuye a la sostenibilidad de la producción agrícola en zonas rurales. zonas de la región semiárida de Ceará.

Palabras-clave: Erosión hídrica, Escorrentía, Degradação del Suelo, Prácticas de Conservación del Suelo.

INTRODUÇÃO

A erosão é causa de perdas de solos significativas e também considerada a mais preocupante e vasta dentre as categorias de degradação antrópica do solo, sobretudo, em função das taxas naturais de renovação dos solos serem muitas vezes menores que as taxas de perdas registradas (RABELO; ARAÚJO, 2019; HUDSON, 1995).

De acordo com dados da FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015) cerca de 25 a 40 bilhões de megagramas de solo são perdidos anualmente no mundo. Descobertas científicas recentes, indicam a elevada vulnerabilidade de muitas áreas a erosão e a possibilidade das mudanças climáticas aumentarem as taxas de perdas de solos, caso não sejam aplicadas estratégias de conservação ou planos de uso da terra adequados (RAJ; KUMAR; SOORYAMOL, 2022).

Para minimizar os impactos relacionados aos processos erosivos é pertinente inicialmente, entender esse fenômeno e os fatores que interferem e potencializam o processo. De acordo com Carvalho et al. (2002) a erosão hídrica é composta por três etapas contínuas e dependentes, são elas: a desagregação das partículas do solo com o impacto das gotas de precipitação; o transporte das partículas com o escoamento superficial e a deposição do material erodido em zonas mais baixas.

Nesse aspecto, fatores intrínsecos do solo e relacionados ao clima, tais como a classe do solo, o relevo, a quantidade, intensidade e sazonalidade das precipitações, bem como o uso e ocupação do solo, podem intensificar as perdas de solos por erosão (SILVA et al., 2021; FERREIRA et al., 2020; LIMA et al., 2020; COSTA; FALCÃO SOBRINHO, 2019; ALMEIDA et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2002; CARVALHO et al. 2002).

Dentre os impactos negativos referidos anteriormente, estão: a compactação, a redução da infiltração de água no solo, perdas de nutrientes, o aumento dos custos com fertilizantes e a redução da produtividade das culturas, o que reflete em perdas econômicas significativas (WANG et al., 2021; SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007).

Além destes, ocorrem perdas de terras agricultáveis, especialmente as ocupadas por agricultores familiares, que ainda utilizam técnicas convencionais insustentáveis de manejo do solo, tais como o plantio no sentido do declive (morro abaixo), o uso do fogo, os monocultivos, etc., manejos estes, que foram via de regra, herdados de seus antepassados e são executados continuamente ao longo dos anos (NASCIMENTO NETO; FALCÃO SOBRINHO; COSTA, 2018; FERREIRA et al., 2020).

Em alternativa as técnicas de manejo inadequadas, citam-se as práticas conservacionistas do solo, que tem provado serem eficientes para reduzir a erosão dos solos agrícolas (LIMA et al, 2020; ALMEIDA et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2002). Porém, apesar das várias constatações da viabilidade dos manejos conservacionistas, ainda são incipientes estudos que estimam perdas de solos por erosão hídrica em áreas semiáridas, principalmente comparando técnicas de manejos conservacionistas e convencionais, o que dificulta planejamentos para a disseminação das melhores técnicas para o manejo do solo entre produtores rurais dessas regiões.

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou comparar as perdas de solos por erosão hídrica em diferentes manejos agrícolas, incluindo os conservacionistas, em uma comunidade de produtores rurais familiares no semiárido cearense.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo está situada no sítio comunitário de São Domingos, uma comunidade de produtores rurais familiares e criadores de pequenos animais do município de Sobral, Estado do Ceará, com as coordenadas geográficas 330273.00 m E e 9580202.00 m S (Figura 1).

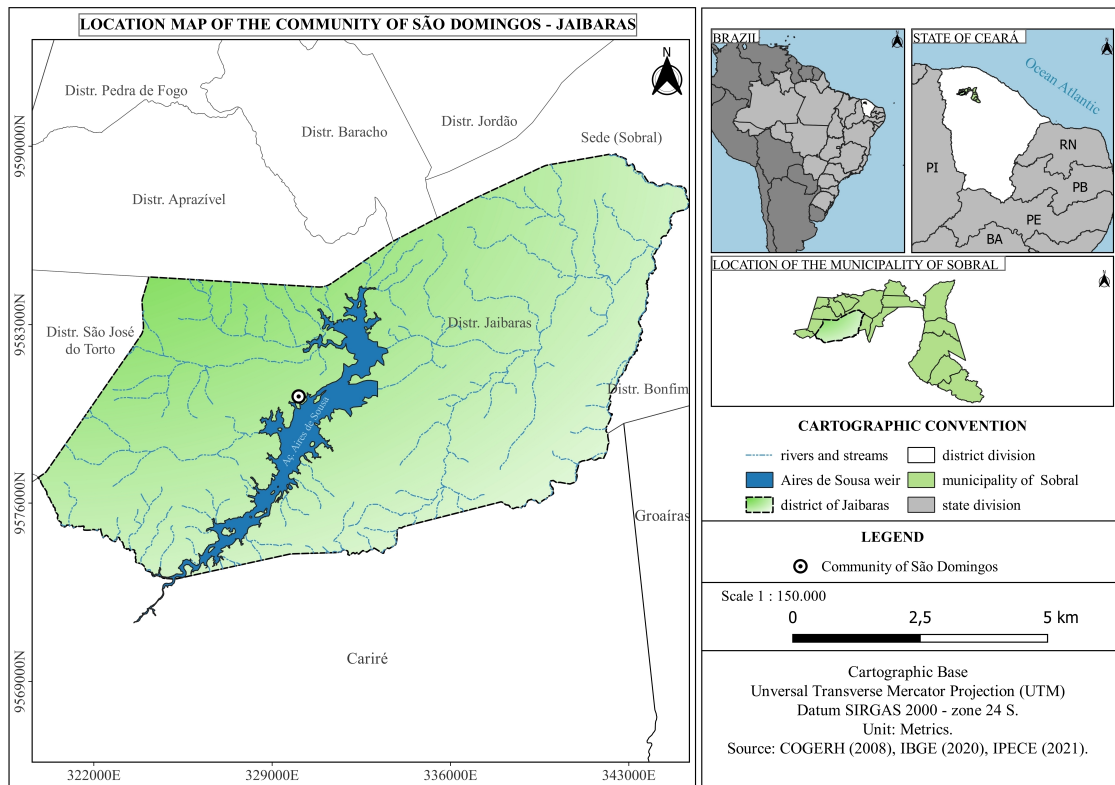


Figura 1 – Mapa de localização da área experimental. Fonte: Elaboração gráfica do autor

A citada comunidade fica nas margens do açude Aires de Souza, construído a partir do barramento do rio Jaibaras (sub bacia hidrográfica do rio Jaibaras) localizado na porção centro norte do Estado do Ceará, mais precisamente na fisionomia da paisagem denominada superfície sertaneja (FALCÃO SOBRINHO, 2020).

O local é formado por terrenos predominantemente de altitudes menores, que podem variar de 40 a 350 metros e por rochas ígneo-metamórfico datadas do período pré-cambriano (BRANDÃO; FREITAS, 2014). A litologia local é constituída por rochas pertencentes aos grupos Jaibaras, com formação Pacujá, com predomínio de arenitos intercalados com siltitos e argilitos onde ocorrem comumente solos Neossolos Litólicos (GOMES; CARVALHO; FALCÃO SOBRINHO, 2021).

O clima local é classificado como Tropical Quente Semiárido, com temperatura média variando entre 26° a 28° e estação chuvosa de janeiro a maio (IPECE, 2012). Dados de precipitação (série histórica de dezessete anos) obtidos da Estação Oficial da FUNCEME- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, situada no distrito de Jaibaras, que fica cerca de quatro quilômetros da área de estudos, estão apresentados na Gráfico 1 e indicam que a precipitação média anual é de 642,1 mm, com precipitação máxima registrada no período, correspondente a 1.325,70 mm e mínima de 325,30 mm.

PRECIPITAÇÃO ANUAL EM MILIMETROS

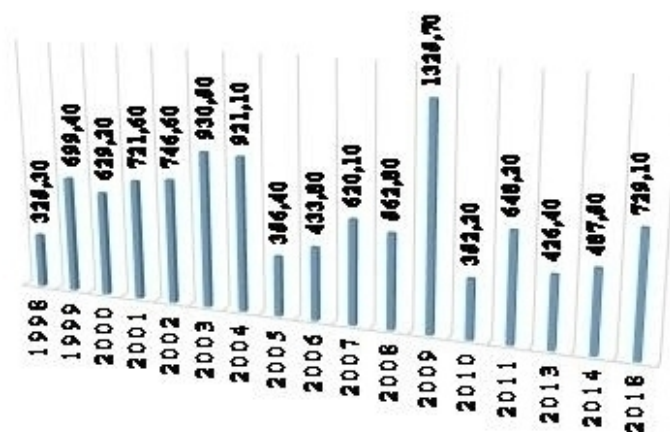


Tabela 1 – Série histórica da Precipitação Anual no Distrito de Jaibaras, Sobral - CE. Fonte: Dados FUNCEME (2022). Elaboração gráfica do autor.

A vegetação predominante na região é de caatinga, classificada fisionomicamente como Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Caducifólia Espinhosa (IPECE, 2012), com presença de árvores semidecíduas e extrato herbáceo de crescimento anual.

Para a classificação do solo da área de estudos, realizou-se a abertura de três trincheiras em diferentes pontos. A avaliação dos perfis possibilitou a classificação do solo no seu primeiro nível categórico como NEOSSOLOS LITÓLICO (EMBRAPA, 2018). Dados médios das análises de fertilidade, obtidos a partir de amostras compostas recolhidas do horizonte A das áreas correspondentes a cada um dos tratamentos que serão apresentados a seguir, foram: pH (água) = 6,3; 12,085 mg kg⁻¹ de P; 15,53 g kg⁻¹ de M.O.; 10,85 cmolc kg⁻¹ de CTC; 77,9% de V; e 4,43; 3,38; 0,300 e 0,489 cmolc kg⁻¹ de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺, respectivamente e classe textural franco argilosa.

DELINEAMENTO, TRATAMENTOS E MONTAGEM

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4 x n (Tratamento x período), sendo os tratamentos formadas por quatro diferentes manejos do solo, foram eles: CNCP - plantio da graviola (*Annona muricata*) em Curvas de Nível associadas a cordões de pedra; MACV - plantio da graviola de forma convencional (morro abaixo), porém, mantendo-se a cobertura do solo que nascia de forma espontânea; CN - plantio da graviola em curva e MASV - plantio da graviola de forma convencional (morro abaixo), ausente de cobertura do solo. O período foi representado pelas datas das coletas dos dados e foram variáveis a depender do parâmetro avaliado.

O layout de cada tratamento consistiu de quatro fileiras de plantas de graviola, com espaçamento de 7 x 7 m, totalizando 20 plantas, sendo as seis plantas centrais, consideradas plantas úteis, nas quais as avaliações foram realizadas.

As ações para a implantação da área experimental foram iniciadas no segundo semestre de 2018 e consistiram das etapas de limpeza (roçagem da vegetação); demarcação das curvas de nível; abertura das covas; adubação de fundação; plantio das mudas de graviola, irrigação; implantação das parcelas de erosão e tratos culturais.

Para a demarcação das curvas de nível utilizou-se um nível de pedreiro, fita métrica de 50 m, piquetes e linhas nylon. As covas de plantio com cerca de 40 x 40 x 40 cm foram abertas manualmente utilizando enxada e picarete.

O plantio das gravioleiras foi realizado em setembro de 2018 e contou com adubação de fundação composta por esterco bovino curtido e calcário dolomítico. Tratos culturais consistiram de limpeza da base da planta (coroamento); de capina total no tratamento MASV; de irrigações regulares nas plantas de todos os tratamentos; de adubações orgânicas de cobertura com esterco caprino e de podas anuais nas

plantas de graviolas.

VARIÁVEIS ANALISADAS

Dois meses após o plantio, foram iniciadas as avaliações biométricas, que consistiram na determinação da altura e diâmetro das plantas úteis de cada tratamento. Para a determinação da altura mediu-se o intervalo entre a base e o ápice das plantas utilizando uma fita métrica. Na determinação do diâmetro mediu-se a base das seis plantas úteis de cada tratamento com um paquímetro digital. Ambas avaliações ocorreram uma vez ao mês, totalizando cinco avaliações.

Ocorreu também a avaliação da umidade gravimétrica do solo durante a quadra chuvosa dos anos de 2018 e 2019. Está consistiu da coleta de solo situado a 20 cm do caule e 0 - 5 cm de profundidade das plantas úteis de cada tratamento. As amostras coletadas foram imediatamente acondicionadas em latas metálicas contendo tampas e seladas com fita apropriada. Após identificadas as amostras foram levadas ao laboratório, pesadas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar para secagem. Dados do peso da lata, do peso da lata com o solo úmido e do peso da lata com o solo seco foram utilizados para a determinação da umidade gravimétrica, conforme descrito por Teixeira et al. (2017).

É importante destacar que em função da elevada mortalidade das plantas do tratamento MACV, este não foi considerado nas análises estatísticas das variáveis biométricas e de umidade do solo.

Em cada um dos tratamentos descritos foi instalada uma parcela de erosão no sentido do declive, totalizando quatro parcelas. Cada parcela com aproximadamente 20 m² foi construída com placas de zinco e alvenaria, com medidas aproximadas de 10 m de comprimento, 2 m de largura e 0,3 m de altura. Na instalação placas de zinco foram enterradas até cerca de 0,15 m de profundidade para garantir o isolamento da parcela de erosão da área externa e evitar a entrada de enxurrada e solo proveniente áreas adjacentes, assim favorecendo que todo o escoamento superficial gerado nas parcelas fosse conduzido para a calha, construída em alvenaria (COSTA & FALCÃO SOBRINHO, 2019).

Cada parcela foi conectada a um sistema coletor, constituído por cano de PVC de 50 mm e três tambores com tampa com capacidades de 20, 25 e 50 L, respectivamente. O primeiro e o segundo tambores possuíam um sistema de 12 saídas, sendo a décima segunda parte do escoamento gerado no primeiro e segundo tambores, canalizado para o próximo tambor. Neste caso, o segundo e terceiro baldes, respectivamente similar ao sistema utilizado por Araújo, 2017.

Ao longo de três anos (2019, 2020 e 2021), foram realizadas 33 (trinta e três) amostragens de eventos de precipitação com ocorrência de processo erosivo, em cada um dos tratamentos. O escoamento superficial recolhido no intervalo de 24 horas em cada balde do sistema coletor, era totalizado e amostrado para ser posteriormente levado ao laboratório, sendo em seguida todo o sistema coletor esvaziado e limpo, para aguardar o evento erosivo seguinte.

No laboratório, as amostras coletadas de cada um dos tambores foram secas para determinação do peso do sedimento erodido em g L⁻¹. Na determinação da perda de solo de cada parcela, multiplicou-se a quantidade de sedimentos das amostras pela quantidade de litros de escoamento superficial, recolhidos em cada parcela de erosão durante o evento erosivo correspondente. Valores de escoamento superficial e perdas de solo por hectare foram obtidos por extrapolação, a partir da área de cada parcela.

Para a determinação da precipitação ocorrida em cada evento de coleta nas parcelas de erosão, foi instalado um pluviômetro manual na área experimental, sendo a leitura do mesmo realizada em intervalos regulares de 24 horas.

Medidas da declividade também foram realizadas, utilizando-se um nível de pedreiro, duas estacas e uma trena, onde mediu-se a diferença de nível entre a primeira e última fileira de plantas de cada tratamento e dividindo-se o valor pela distância entre os dois pontos (comprimento da rampa).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados das variáveis altura e diâmetro e umidade gravimétrica do solo foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e quando apresentaram normalidade foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Para dados significativos foi aplicado o teste Tukey a 5% de probabilidade,

utilizando o software R-project versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2021).

Dados de precipitação, escoamento superficial e perdas de solos, foram submetidos a análise da Matriz de correlação de Spearman, de componentes principais (PCA) e de cluster, usando o software Pacote SPSS v.16. A adequação das amostras foi avaliada por meio do teste de uniformidade de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) e teste de esfericidade de Bartlett.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados da análise de variância dos parâmetros biométricos e da umidade do solo, estão apresentados na Tabela 2. Não foram verificados efeitos da interação entre os tratamentos e as datas das coletas, porém, foi verificado efeito significativo dos tratamentos e das coletas isoladamente, para a altura das plantas. Houve também o efeito isolado das datas de coleta para o diâmetro e do tratamento para a umidade gravimétrica do solo (Tabela 2).

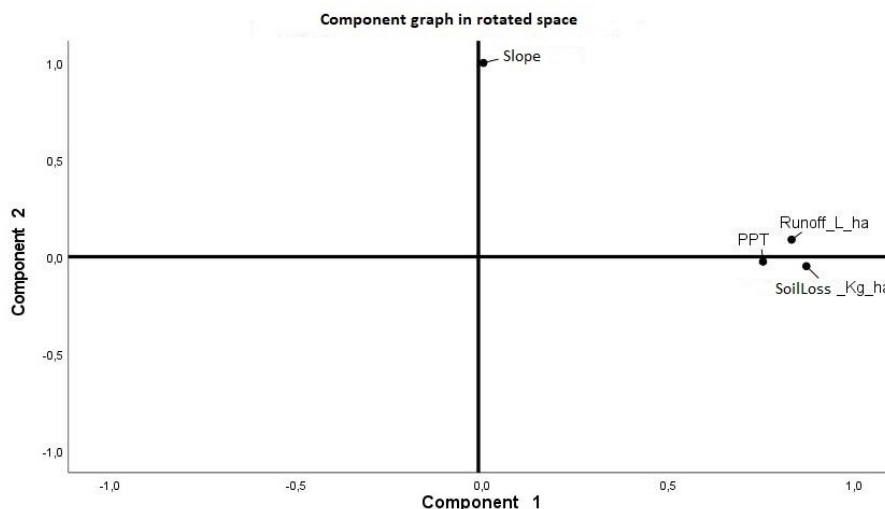


Tabela 2 – Resumo da Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis altura e diâmetro do caule das plantas, e umidade gravimétrica do solo.

** e *Correlação significativa é de 0,01 e 0,05, respectivamente, enquanto ns é não significativo.

Plantas com maiores alturas tiveram média de 62,0 cm e foram encontradas no tratamento com plantio em curvas de nível, associadas a cordões de pedras – CNCP, enquanto as plantas com menores alturas, foram encontradas no tratamento com plantio morro abaixo e ausência de vegetação de cobertura – MASV, sendo a altura média desse tratamento cerca de 29,52 % menor (Figura 2A). Nas avaliações realizadas em 03/2019 as plantas apresentaram média de 81,2 cm e foram significativamente maiores em comparações as alturas registradas nas demais avaliações (Figura 2B).

O diâmetro médio das gravioleiras atingiu 10,95 mm (Figura 2C) e similarmente a altura, foi significativamente maior nas avaliações de 03/2019, com valor de 16,76 mm (Figura 2D).

PERDAS DE SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DO SEMI-ÁRIDO

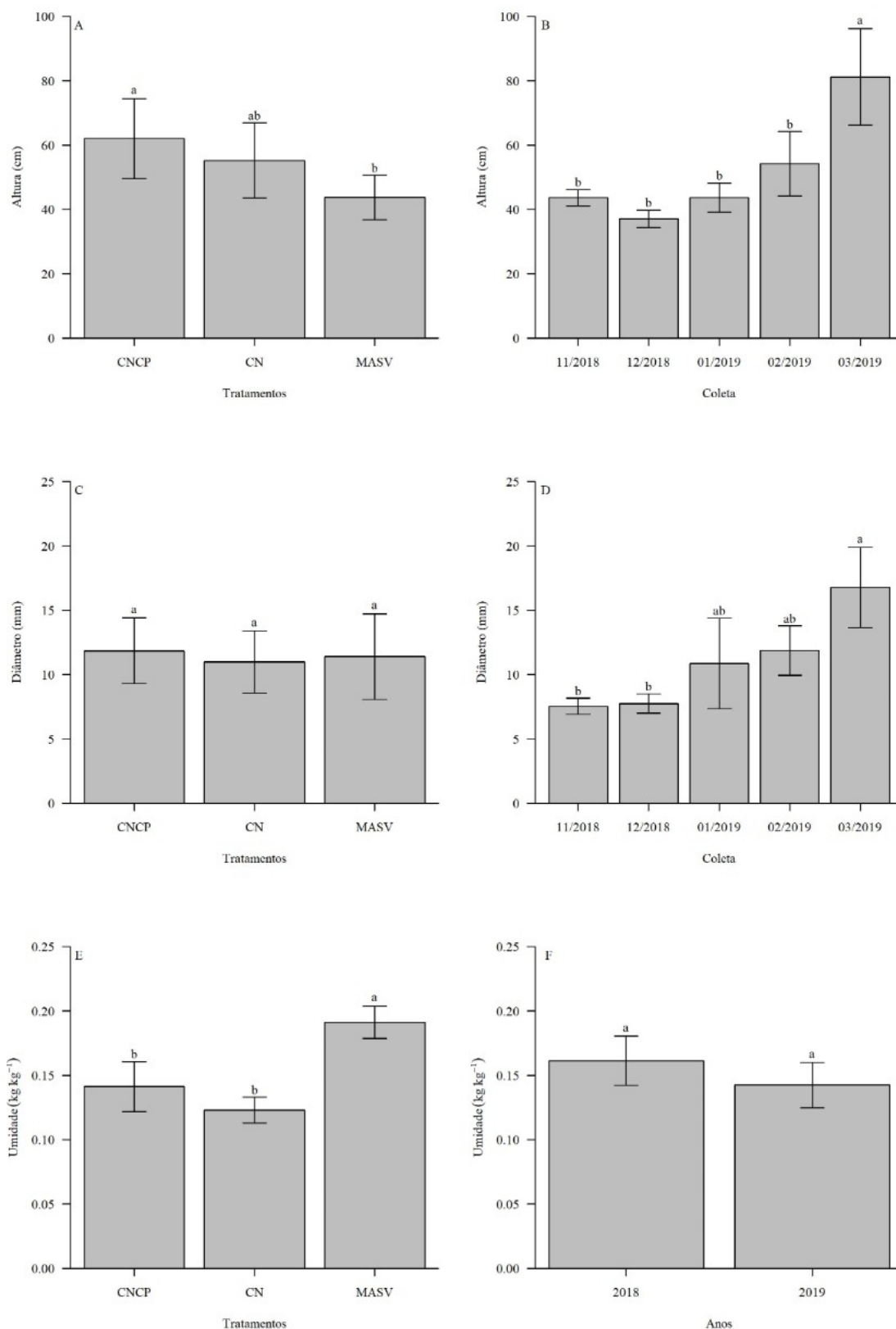


Figura 2 – Altura x tratamento (A), Altura x data de coleta (B), Diâmetro x tratamento (C), Diâmetro x data de coleta (D) de plantas úteis de graviolas e Umidade x tratamento (E) e Umidade x data de coleta (F) do solo nos tratamentos CNCP - Plantio em curva de nível associada com cordões de pedra; MASV- Plantio morro abaixo ausente de vegetação; CN – Plantio em curva de nível.

No que se refere aos maiores valores da altura e diâmetros nas plantas da avaliação realizada em 03/2019, estes são coerentes com o desenvolvimento vegetal e podem indicar que nesse período as gravioleiras já haviam se estabelecido no solo e aumentaram sua taxa de crescimento vegetativo.

Para a umidade gravimétrica do solo, não houveram diferenças significativas entre os anos avaliados, sendo observados valores médios na ordem de 0,15 kg kg⁻¹ (Figura 2E). Porém, entre tratamentos, encontrou-se maiores umidades (0,1911 kg kg⁻¹) no tratamento MASV, enquanto nos tratamentos CNCP e CN os valores foram de 0,1413 e 0,1223 kg kg⁻¹, respectivamente.

Tal constatação não tem sido evidenciada com frequência em experimentos que comparam o plantio em curva de nível e cordões de pedra, com o plantio morro abaixo. Um dos casos é o estudo de Santos et al. (2009) que constataram em um experimento com chuva simulada, que nos sistemas com adoção do cultivo em nível associado a barramentos de pedra, a umidade do solo foi consideravelmente mais elevada em comparação a área com cultivo morro abaixo, sendo tais resultados devidos a menor velocidade e a maior permanência do escoamento superficial na linha de plantio.

Em nosso estudo, porém, constatou-se que o escoamento superficial no tratamento MASV foi superior ao ocorrido nos tratamentos CNCP e CN, como será apresentado em mais detalhes à frente e esse fato pode ter beneficiado a maior umidade nesse tratamento, justificando assim os resultados observados.

Vale destacar também, que as plantas do presente estudo foram regularmente irrigadas, inclusive durante períodos de estiagem ocorridos durante a quadra invernososa. Sendo assim, as diferenças de umidade entre os tratamentos, mesmo que significativas, podem não ter acarretado efeitos negativos no status hídrico nas plantas sob os manejos conservacionistas, assim, não interferindo no melhor crescimento das plantas desses tratamentos.

A matriz de correlação de Spearman (Tabela 3) mostrou que as variáveis precipitação, escoamento superficial (runoff) e perdas de solos, foram fortemente correlacionados entre si, mas não se correlacionaram efetivamente com a declividade.

	PPT	Runoff	Perdas de Solo	Declividade
PPT	1			
Runoff	0,411**	1		
Perdas de Solo	0,495**	0,623**	1	
Declividade	0,000	0,055	-0,029	1

Tabela 3 – Matriz de correlação de Spearman para as variáveis Precipitação (PPT), Runoff, Perdas de solos e Declividade.

** correlação de Pearson significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

A análise de componentes principais - PCA possibilitou a identificação de dois componentes com um autovalor maior que 1,0, o que explica 75,8% dos dados avaliados (Figura 3). O componente 1 (autovalor de 50,62%) mostrou forte associação entre precipitação - PPT (0,755), Runoff (0,834) e Perdas de Solos (0,871). Na componente 2 (valor próprio de 25,12%) a associação foi elevada, porém, independente da variável declividade, com valor igual a 0,998.

PERDAS DE SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DO SEMI-ÁRIDO

Fatores	Altura	Diâmetro	Umidade
Data coleta	10,1862 **	5,1979 **	2,5089 ns
Tratamentos	4,8487 *	0,1008 ns	11,7031 ***
Interação: Coleta*Tratamento	0,3839 ns	0,4167 ns	0,2196 ns

Figura 3 – Análise de componentes principais (PCA) para as variáveis Precipitação (PPT), Runoff, Perdas de solos e Declividade em relação aos manejos do solo: CNCP - Plantio em curva de nível associada com cordões de pedra; MASV- Plantio morro abaixo ausente de vegetação; CN – Plantio em curva de nível e MACV- Plantio morro abaixo com vegetação. Teste KMO: 0,659 e teste de Bartlett: 103,776.

O dendrograma de cluster, baseado na distância euclidiana como medida de dissimilaridade (Figura 4) resultou em dois grupos nas avaliações realizadas dentre os tratamentos de manejo do solo. O primeiro grupo, formado pelos tratamentos CN e MACV, são considerados similares entre si e dissimilares em comparação aos tratamentos CNCP e MASV, que por sua vez, apresentaram características comuns.

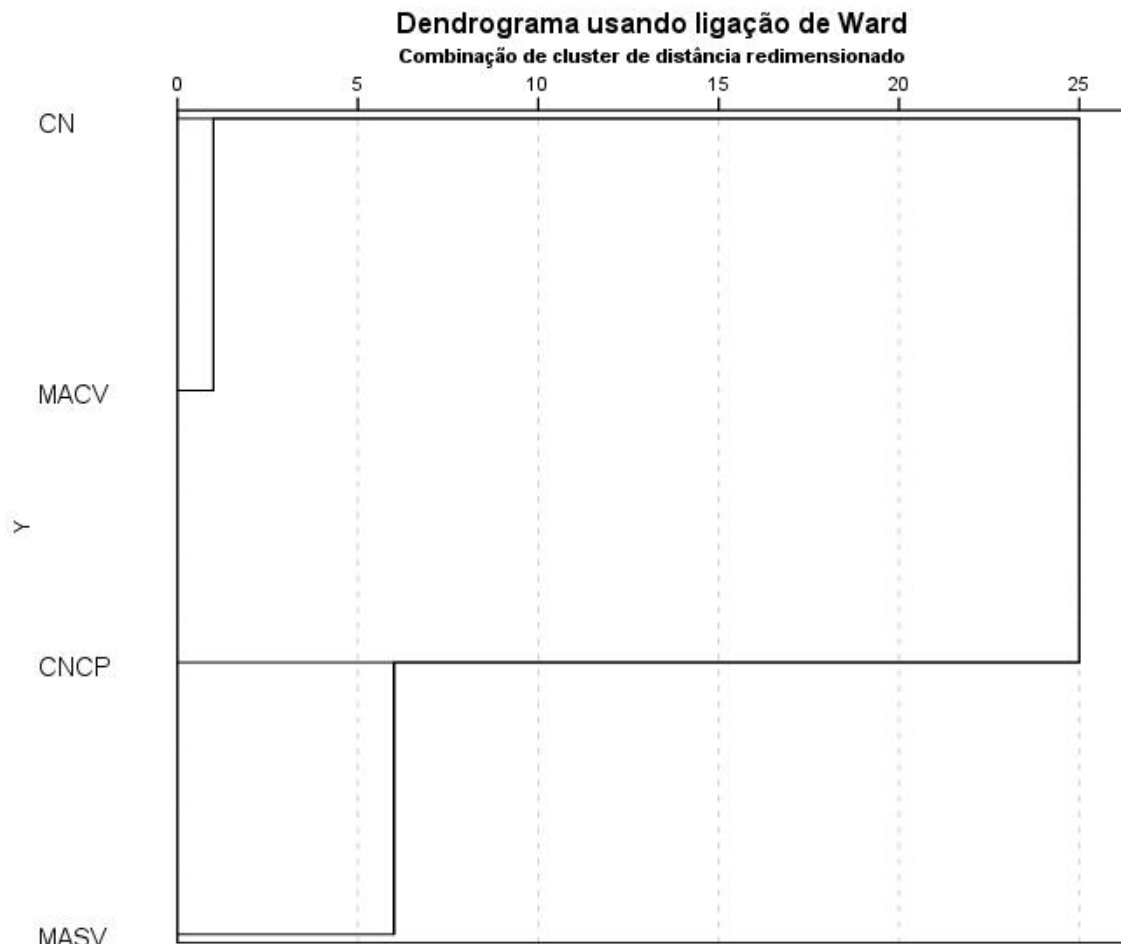


Figura 4 – Dendrograma de Cluster para os manejos do solo: CNCP - Plantio em curva de nível associada com cordões de pedra; MASV- Plantio morro abaixo ausente de vegetação; CN – Plantio em curva de nível e MACV- Plantio morro abaixo com vegetação.

A forte relação entre as variáveis PPT, runoff e perdas de solos evidenciada na análise de

componentes principais (Figura 3) é coerente com estudos como os de Costa e Falcão Sobrinho, (2019) e Carvalho et al. (2002), que mostram relação positiva entre precipitação, escoamento superficial e perdas de solos e corroboram os dados encontrados neste estudo.

O agrupamento dos tratamentos CN e MACV / CNCP e MASV evidenciado no dendograma de Cluster, pode ser melhor visualizado a partir da análise dos dados da estatística descritiva apresentados na Tabela 4. Os tratamentos CN e MACV apresentaram médias de runoff e perdas de solos muito próximas, com valores médios totais de 19.690,65 L ha⁻¹ para o runoff e 3.923,18 Kg ha⁻¹ para as perdas de solo, respectivamente.

Estatística Descritiva	Tratamentos	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (L ha ⁻¹)	Perdas de Solo (Kg ha ⁻¹)
Média	CNCP	20,59	24.735,13	2.600,44
	MASV	20,59	26.030,82	6.247,88
	CN	20,59	19.590,44	3.993,04
	MACV	20,59	19.790,87	3.853,31
Máximo	CNCP	67,00	79.887,22	30.580,51
	MASV	67,00	185.339,44	84.723,78
	CN	67,00	133.928,57	94.081,82
	MACV	67,00	86.134,45	41.721,03
Mínimo	CNCP	6,00	2.349,62	1,34
	MASV	6,00	3.123,70	7,51
	CN	6,00	558,04	0,54
	MACV	6,00	3.151,26	5,11

Tabela 4 – Valores médios, máximos e mínimos da precipitação em mm, do escoamento superficial em L ha⁻¹ e das Perdas de solos em Kg ha⁻¹ nos tratamentos CNCP - Plantio em curva de nível associada com cordões de pedra; MASV- Plantio morro abaixo ausente de vegetação; CN – Plantio em curva de nível e MACV- Plantio morro abaixo com vegetação.

Nos tratamentos CNCP e MASV os valores de runoff foram em média 5.692,33 L ha⁻¹ e perdas de solos foram distintas, sendo estes maiores valores de runoff, possivelmente relacionados a maior declividade registrada no tratamento CNCP, que foi correspondente a 9,0%. Esse fato pode explicar, pelo menos em parte, o efeito isolado da declividade apresentado na análise de componentes principais. O tratamento MASV apresentou declividade de 7,0 %, enquanto nos tratamentos CN e MACV as declividades foram 7,0 e 4,0%, respectivamente.

De modo geral, encontrou-se que no tratamento MASV ocorreram as maiores perdas de solos e os maiores escoamentos superficiais, com média de 6,25 Mg ha⁻¹ e 26,03 m³ ha⁻¹ em cada evento de 20,6 mm de precipitação, respectivamente.

Menores perdas de solo foram encontradas no tratamento conservacionista CNCP, com média de 2,6 Mg ha⁻¹ em cada evento de 20,6 mm de precipitação, apesar de nesse tratamento o escoamento superficial médio ser maior que nos tratamentos CN e MACV, possivelmente em função da maior declividade na área desse tratamento.

Lima et al, (2020) também encontraram em seus estudos com práticas conservacionistas em um Neossolo Regolítico, que o tratamento com solo exposto, apresentou os maiores valores de escoamento e

perdas de solos, quando comparado aos tratamentos conservacionistas.

No que se refere a ocorrência de menores perdas de solos do tratamento CNCP, mesmo com valores mais elevados de escoamento superficial, acredita-se resultar do efeito dos cordões de pedra na filtragem do escoamento, uma vez que as rochas que formam os cordões de pedras são uma barreira física a passagem do sedimento, que pode se acumular nos pequenos espaços formados entre as rochas.

No caso do tratamento MACV, os valores de runoff e perdas de solos mais próximas as encontrados nos manejos conservacionistas, podem ser resultantes do efeito da vegetação espontânea crescida naturalmente nesse tratamento, que tem potencial de proporcionar a diminuição do escoamento superficial, uma vez que diminui a velocidade do fluxo da enxurrada, pela rugosidade superficial, resultando na diminuição da capacidade de transporte dos sedimentos (COSTA; FALCÃO SOBRINHO, 2019; SANTOS et al., 2009).

Nos estudos de Lima et al., (2020) os autores verificaram em eventos com elevada precipitação (81,2 e 71,0 mm) a não ocorrência de escoamentos superficiais nos tratamentos conservacionistas que utilizavam cobertura morta, enquanto valores médios de escoamento atingiram 7,55 mm e perdas de solos chegaram a 0,015 kg m⁻² no tratamento com solo exposto, corroborando assim as tendências observadas no presente estudo.

Os valores estimados de perdas de solos encontradas nesse estudo, são consideradas elevados, principalmente quando se considera a possibilidade da ocorrência de vários eventos chuvosos iguais ou superiores ao valor da precipitação média entrada, ao longo do período chuvoso anual. Vale destacar, porém, que valores de perdas de solo podem ser muito variáveis, mesmo numa mesma área, uma vez que são vários os fatores que interferem na intensidade das etapas que compõe a erosão.

Costa e Falcão Sobrinho (2019) avaliando perdas de solo em microbacias do vale do Acaraú, encontraram perdas de solos anuais variáveis em mais de 50 % durante o monitoramento de um Luvissole por dois anos seguidos. No mesmo estudo, valores de até 45,17 Mg ha⁻¹ anuais foram encontrados para uma precipitação anual de 709,4 mm, enquanto no ano anterior, perdas foram reduzidas em 51,04%, mesmo com a precipitação apenas 36,4% menor. No mesmo estudo, perdas de solos anuais foram ainda maiores, quando o solo monitorado foi um Argissolo, que naturalmente apresenta maior suscetibilidade a erosão.

Ebabu et al. (2022) analisando a variação de dois dos fatores da equação de perdas de solos, que são influenciados por atividades humanas e variáveis climáticas, a partir da consulta de 255 artigos publicados, verificaram grandes variações nos fatores estudados em função das zonas climáticas, dos tipos de uso do solo ou do tipo de cobertura da terra e das práticas de manejo utilizadas. Também destacaram que o cultivo reduzido e uso de terraços contribui significativamente para reduzir a perda de solo.

Os achados dos estudos supracitados, sugerem que fatores como a intensidade da precipitação, a erodibilidade, o comprimento da rampa, o sentido do declive e a própria declividade, tem efeitos importantes nas perdas de solos e na geração do escoamento superficial, sendo tais efeitos dependentes da interação entre esses fatores.

Tomando como referência a intensidade da precipitação, Lima et al., (2020) registraram a não geração de escoamento para alguns eventos com precipitação superior a 30 mm e afirmaram que o fato estava relacionado à baixa intensidade média da chuva.

Andrade (2017) também destacou casos da ausência total de escoamento superficial ou da ocorrência de escoamento superficial inferior a 7 mm em microbacias do semiárido nordestino durante períodos de estiagem prolongada e afirmou que nesses casos pode haver redução nos valores de perda de solos registrados, sendo por esse motivo importante realizar o monitoramento contínuo e prolongado das perdas de solos em áreas semiáridas.

CONCLUSÃO

Dados obtidos nessa pesquisa, possibilitaram concluir que práticas conservacionistas como o plantio em curvas de nível associado a cordões de pedra, o plantio em curva de nível isoladamente e a manutenção da cobertura do solo com plantas espontâneas, mesmo em plantios realizados no sentido do

declive (morro abaixo), tem potencial de reduzir as perdas de solos por erosão hídrica em comparação ao cultivo “no limpo” com plantio morro abaixo, comumente desenvolvido em áreas semiáridas com declividades médias entre 4 e 9%, principalmente sob solos naturalmente mais susceptíveis a erosão como os Neossolos Litólicos.

Isso suscita a importância do desenvolvimento de ações de Intervenções eficazes para a disseminação dessas práticas agrícolas conservacionistas e mais sustentáveis entre os produtores rurais da região semiárida, visando favorecer a redução da degradação dos solos e proporcionar aumentos na produtividade das plantas cultivadas, haja visto, a pesquisa em questão, mostrar também o melhor desenvolvimento das plantas sob os manejos conservacionistas.

A concepção das ações citadas, é fundamental para a manutenção da produção agrícola, que é basilar para a sociedade como fonte confiável de alimentação para a existência humana, fonte de emprego e renda e para fomentar a convivência dessas populações tradicionais com o semiárido.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Nacional, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, por sua contínua ajuda e apoio financeiro, bem como a Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA pelo apoio técnico, científico e estrutural.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.136-141, 2002.
- ALMEIDA, W. S. DE; CARVALHO, D. F. DE; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.9, p.1110-1119, 2016.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B. (2017). Water as capital and its uses in the Caatinga (1. ed). In J. M. C. Silva; I. R. Leal; M. Tabarelli (Eds.), *Caatinga: The largest tropical dry forest region in south américa* (p. 281-302). New York, US: Springer International Publishing.
- ARAÚJO, Isabel Cristina da Silva. Perda de solo e aporte de nutrientes e metais em reservatório do Semiárido brasileiro. 2017. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- BRANDÃO, R. D. L; FREITAS, L. C. B. Geodiversidade do estado do Ceará: Programa Geologia do Brasil. *Levantamento da Geodiversidade*. 1. ed. Fortaleza, Brasil: CPRM, 2014. 214p.
- CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.
- COSTA FALCÃO, C. L. DA; FALCÃO SOBRINHO, J. Precipitation and soil carriage in microbasins of the Acaraú valley in the state of Ceará. *ACTA Geográfica*, v.13, p. 1-27, 2019.
- EBABU, K.; TSUNEKAWA, A.; HAREGEWEYN, N.; TSUBO, M.; ADGO, E.; FENTA, A. A.; MESHESHA, D. T.; BERIHUN, M. L.; SULTAN, D.; VANMAERCKE, M.; PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; LANGENDOEN, E. J.; POESEN, J. Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, v 10, p. 161 – 176, 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018; Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/ Humberto Gonçalves dos Santos et al. 5ª ed., rev. e ampl. Brasília, DF. 365 p.

Disponível em:<
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>
 >. Acesso em julho de 2022.

FALCAO SOBRINHO, J. A natureza do Vale do Acaraú: um olhar através das sinuosidades do relevo. Editora Sertão Cult, 2020. 189 p.

FERREIRA, S.D, CLAUDINO-SALES, V., FALCÃO SOBRINHO, J. Pedodiversity and environmental degradation in the lower course of Acaraú river, Ceará State, Northeastern Brazil. Revista Brasileira de Geografia Física, v.13, n.06, p. 2788-2801, 2020.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). Status of the World's Soil Resources. Roma, IT: ITPS.

FUNCEME- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Série Histórica. Disponível em:http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/downloadHistoricos/postos/500.txt. Acesso em julho de 2022.

GOMES, M. R. DE M.; CARVALHO, B. L.; FALCÃO SOBRINHO J. Geoprocessing applied to the analysis of social technologies in different geomorphological environments in the Jaibaras sub-basin – Ceará. Brazilian Journal of Development, v.7, n.9, p. 94820-94835, 2021.

HUDSON, N. W. (1995). Soil conservation (3rd ed.). Ames, US: Iowa State University.

IPECE- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. PERFIL BÁSICO MUNICIPAL. GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO (SEPLAN). Fortaleza-CE, 2012. 10 P. Disponível em:<
<https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/01/Sobral.pdf>>. Acesso em maio de 2022.

LIMA, C. A. DE; MONTENEGRO, A. A. DE A.; LIMA, J. L. M. P. DE; ALMEIDA, T. A. B., SANTOS, J. C. N. DOS. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. Eng Sanit Ambient, v.25, p. 531-542, 2020.

NASCIMENTO NETO, J. N. DO; FALCÃO SOBRINHO, J.; COSTA FALCÃO, C. L. DA. Soil Management in the Wet Solid Mass of Uruburetama, Ceará, Brazil. Journal of Geography and Earth Sciences. Vol. 6, p. 25-38, 2018.

RABELO, D. R., & ARAÚJO, J. C. Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do rio seridó, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, p. 361-372, 2019.

RAJ, A. D.; KUMAR, S.; SOORYAMOL, K. R. Modelling climate change impact on soil loss and erosion vulnerability in a watershed of Shiwalik Himalayas. Catena, v14, p. 106279, 2022.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em julho de 2022.

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

SCHNEIDER, P., GIASSON, E. e KLAMT, E. Classificação da Aptidão Agrícola das Terras: Um Sistema Alternativo. Ed. Agrolivros, Guaíba-RS, 2007. 70p.

SILVA, C.V. T.; ANDRADE, E. M. DE; AQUINO, L. C. DE; FILHO, L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, H. S. DE. Temporal dynamics of soil susceptibility to erosion in semiarid watersheds. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 43. p. 1 – 12, 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de

análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017.

WANG, H.; XIE, T.; YU, X.; ZHANG, C. Simulation of soil loss under different climatic conditions and agricultural farming economic benefits: The example of Yulin City on Loess Plateau. *Agricultural Water Management*. v. 244, p. 1 - 13, 2021.