



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 20, nº 3 (2019)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>



ANÁLISE DE PERDA DO SOLO POR EROSIÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COREAÚ (CEARÁ-BRASIL)

ANALYSIS OF SOIL LOSS BY EROSION IN COREAÚ RIVER BASIN (CEARÁ-BRAZIL)

Francisco Rodrigo Cunha de Sousa

Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará
Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60.714-903. Brasil
ORCID: 0000-0002-6559-4191
E-mail: rodrigofrcs@hotmail.com

Davis Pereira de Paula

Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará
Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60.714-903. Brasil
ORCID: 0000-0002-8298-7720
E-mail: davispp@gmail.com

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
18/01/2019
Aceito (Accepted):
26/05/2019

Palavras-chave:

Equação Universal de Perda
de Solo; Processos Erosivos;
Modelagem de Processos
Erosivos.

Keywords:

Universal Soil Loss Equation;
Erosive Processes; Erosive
Process Modeling.

Resumo:

O conhecimento da intensidade dos processos erosivos contribui para o planejamento ambiental de bacias hidrográficas, especialmente das bacias inseridas no contexto de semiaridez do Nordeste brasileiro, como é o caso da bacia hidrográfica do rio Coreaú, localizada na porção Noroeste do estado do Ceará. Este estudo tem por objetivo estimar as perdas de solos da bacia hidrográfica do rio Coreaú através do emprego da Equação Universal de Perda de Solo (USLE). O fator de erosividade das chuvas foi calibrado a partir de análises estatísticas de séries históricas de precipitações pluviométricas nos postos inseridos no interior da bacia em questão. As demais variáveis da Equação Universal de Perdas de Solos foram obtidas por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), destinado à análise geoespacial da bacia hidrográfica. Em síntese, os resultados das análises obtidos pela USLE, demonstram que na bacia do rio Coreaú perde-se, em média, 15,80 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de solos, sendo que 993,709 Km² da bacia do rio Coreaú apresentam perda anual de solo acima de 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹, o que equivale a 9,4 % da área da pesquisa. Nessas áreas, os processos erosivos são bem mais intensos e, muitas vezes, ocorrem diretamente sobre a rocha exposta, pois o solo já foi totalmente carregado.

Abstract:

The science of soil erosion intensity contributes to the environmental river basin planning, especially those inserted in the semiarid context of the Brazilian Northeast. This is the case of the Coreaú river basin, located in the Northwest

portion of Ceará state. This study aims to analyze the soil erosion potential in the Coreaú river basin through the calibration and use of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The rainfall erosivity factor was calibrated from the statistical analysis of historical rainfall series of the meteorological posts inserted inside the basin. The other variables of the USLE Equation were acquired through of a Geographic Information System (GIS), used for geospatial analysis of the drainage basin. In summary, the results of the analyzes obtained by the USLE, an average of 15,80 t.ha⁻¹.year⁻¹ of soils is lost, with 993,709 Km² of the Coreaú river basin showing an annual soil loss of over 50 t.ha⁻¹.an⁻¹, which is equivalent to 9.4% of the research area. In these areas, erosion processes are much more intense and often occur directly on the exposed rock, because the soil has already been fully loaded.

1. Introdução

As elevadas intensidades das precipitações pluviométricas no Nordeste brasileiro, aliadas às diversas fragilidades ambientais originárias, principalmente a irregularidade hídrica, têm ocasionado processos com resultados cada vez mais efetivos de perda de solos das bacias hidrográficas e de altas taxas de escoamento superficial (SOUSA, 2018). Nesse contexto, as formas rudimentares de uso e ocupação das terras podem contribuir para o agravamento da degradação ambiental no interior das bacias hidrográficas. Isto significa que as questões físicas, envolvendo o potencial ecológico, e antrópicas podem levar à exploração biológica além da capacidade de suporte do ambiente.

No interior de uma bacia hidrográfica, a interação entre as águas das chuvas e os elementos naturais, como os solos, a vegetação e as rochas, propicia fluxos de matéria e energia responsáveis pela formação da paisagem (HUTTON, 2012). O solo (ou afloramentos rochosos, muito comuns na região de depressão sertaneja) representa a face de contato com a água precipitada das chuvas, facilitando ou dificultando o escoamento superficial das águas precipitadas. Esse contato provoca a movimentação das partículas de solo por meio da energia gravitacional, que é capaz de transformar sua forma, ocasionando a erosão.

A erosão é, portanto, um processo natural, que tem por principais fatores condicionantes: a erosividade, a erodibilidade, o relevo e a cobertura vegetal. Além do mais, é possível citar diversos outros fatores intensificadores ou amenizadores da erosão, como as práticas de manejo do solo, práticas conservacionistas e preservacionistas, desastres ambientais, mudanças climáticas, entre muitos outros que interferem de forma direta ou indireta nas etapas da erosão (BERTONI e NETO, 2012).

A Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) destaca-se por ser um dos modelos mais utilizados no estudo da erosão hídrica. Foi desenvolvida nos EUA a partir da análise do escoamento

superficial em mais de 10.000 áreas experimentais, sob condições diversas de parâmetros hidroclimáticos (e.g. precipitação, evaporação, drenagem e outros), ambientais (e.g. geologia, solos e vegetação) e antrópicos (e.g. formas de cultivo e ocupação). Ao longo das últimas décadas, a USLE já foi revisada e adaptada às diferentes realidades e, com o uso de novas tecnologias, tem sido amplamente implementada em estudos de bacias hidrográficas (ÍRVEM; TOPALOGU e UYGUR, 2007).

O conhecimento do potencial de erosão do solo é importante à compreensão dos problemas ambientais, pois permite identificar as práticas que mais contribuem para a preservação/conservação dos solos. Assim, uma análise quantitativa dos processos físicos ou mecânicos, consorciados com uma caracterização qualitativa dos arranjos produtivos locais, pode levar à consolidação de estratégias racionais de uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas semiáridas (CHORLEY e HAGGETT, 1967).

Os problemas decorrentes dos processos erosivos são intensificados nas regiões semiáridas, tanto pelas suas características morfoestruturais e pedológicas quanto pelo regime hidrológico e a consequente escassez hídrica, que tornam as atividades econômicas, como a agropecuária, potencialmente impactantes.

Assim, este estudo tem por objetivo estimar a perda de solos da bacia hidrográfica semiárida do rio Coreaú (Ceará), por meio da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo, utilizando-se do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para espacializar as intensidades dos processos erosivos, além de identificar os principais fatores que contribuem para a erosão laminar na área de estudo.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Coreaú está localizada na porção Noroeste do estado do Ceará, a aproximada-

mente 250 Km da capital Fortaleza, tendo como acesso principal a BR-222 e a CE-085. A bacia encontra-se inserida entre as latitudes 2°47'10,19''S e 3°56'37,23''S e longitudes 40°12'51,94''W e 41°19'25,81''W e toma uma área de aproximadamente 10.635 km², com perímetro de 565 Km, ocupando aproximadamente 7% do território cearense (Figura 1).

A bacia hidrográfica do Coreaú inclui integralmente os territórios municipais de Alcântaras, Barroquinha, Camocim, Chaval, Coreaú, Frecheirinha, Ibiapina, Granja, Jijoca de Jericoacoara, Martinópole, Moraújo, Uruoca e parcialmente de outros 13 municípios. Esses municípios somados contam com uma população de mais 420 mil habitantes (IBGE, 2010).

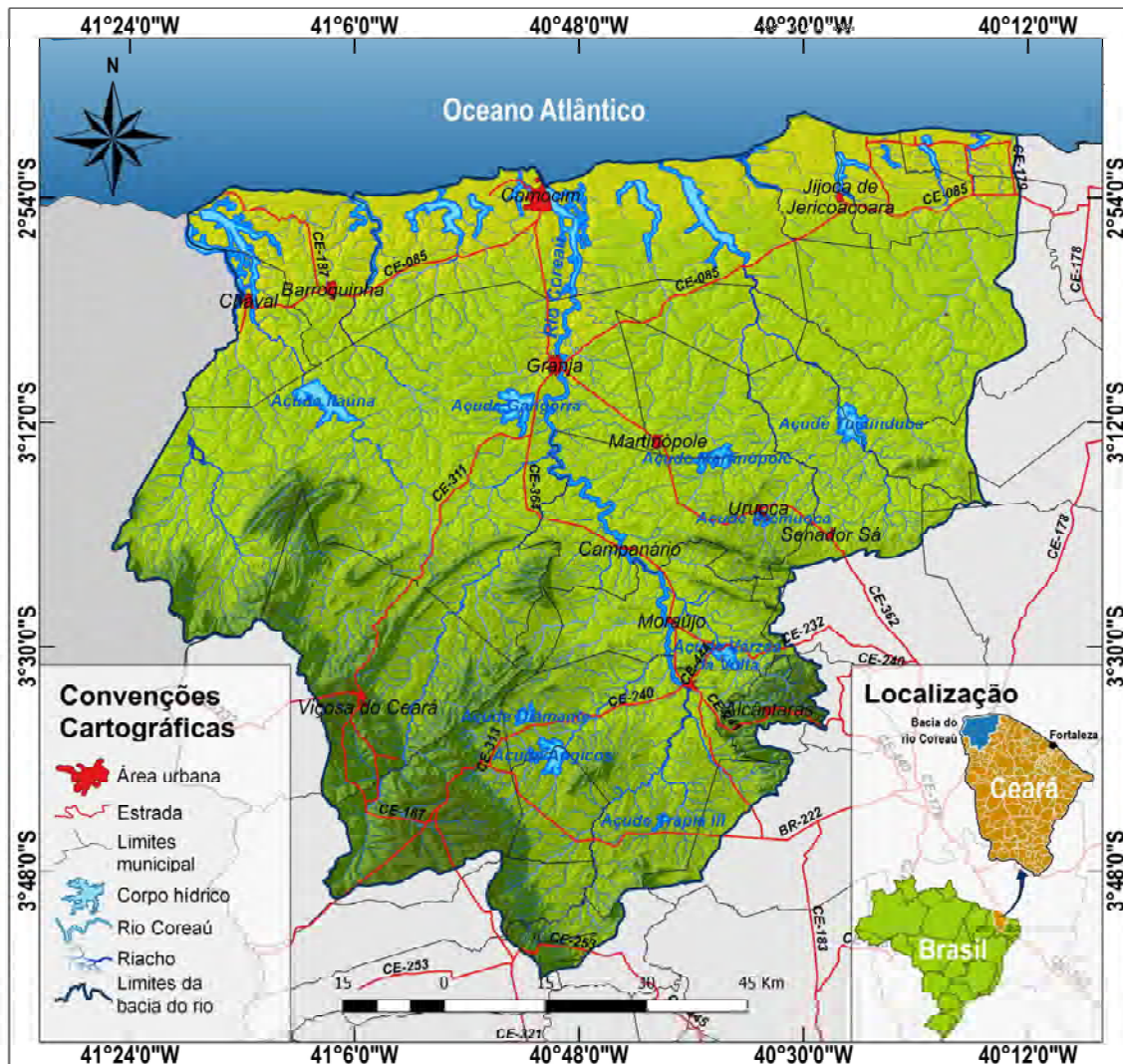


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Coreaú. Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000. Fonte: Base cartográfica do IBGE (2016).

O rio Coreaú, principal rio da bacia que leva seu nome, tem suas nascentes principais localizadas no Planalto da Ibiapaba (Sudoeste da bacia) e no Maciço Residual da Meruoca (Sudeste da bacia), dentre as quais podemos citar as nascentes dos rios Juazeiro, Jatobá, Quatiguaba e Poção. A drenagem do rio Coreaú é do

tipo exorreica, com direção ao oceano Atlântico, percorrendo terrenos da Depressão Sertaneja, da Formação Barreiras e da Planície Costeira. No interior da bacia, estão localizados importantes reservatórios de água da porção Norte do Ceará, tais como Angicos, Gangorra e Várzea da Volta.

Sob o ponto de vista hidroclimático, a bacia está inserida no contexto semiárido, sendo caracterizada por altas temperaturas, baixos índices de umidade, irregularidades espaciais e temporais no regime de precipitações, marcado geralmente por valores inferiores a 1.000 mm anuais (FUNCEME, 2016).

Na bacia do rio Coreaú, é possível encontrar uma enorme variedade de solos, sendo que a maior parte deles consiste em associações de tipos diferenciados de solos, apesar de ser possível destacar os Argissolos, Planossolos e Neossolos como as classes mais representativas (CPRM, 2014).

2.2 A Equação Universal de Perda de Solo

A Equação Universal de Perda de Solo é empregada largamente na literatura especializada, sendo um recurso valioso ao planejamento ambiental e à tomada de decisões (SILVA, 1985; WANG, 2001; VIEIRA, 2008). Vale destacar que a USLE foi desenvolvida com o propósito de aplicabilidade em regiões diferentes do globo, inclusive em regiões semiáridas, caso em questão neste estudo. A USLE é um modelo conceitual de previsão de erosão desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978) como um guia de análises quantitativas/qualitativas importante para o planejamento e a conservação dos solos, sendo expressa pela Equação 1. Apesar da existência de modelos posteriores mais complexos, a USLE se emprega melhor a este estudo devido à indisponibilidade de informações e pesquisas prévias na área específica que possam fomentar análises mais detalhadas.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Na equação, A representa a unidade de perda de solo por área no tempo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); R é a erosividade, que simula a capacidade energética da chuva de causar erosão em um solo sem cobertura vegetal ($MJ/ha \cdot mm/ha$); K designa o fator de erodibilidade do solo, isto é, a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e consiste na susceptibilidade do solo à erosão; LS é o fator conjunto que compreende, respectivamente, o comprimento de rampa (L) e o grau de declividade (S), ambos adimensionais; C (adimensional) reflete o fator de uso e manejo do solo, ou seja, a relação entre perdas de solo em dadas condições de uso e cobertura; e P (adimensional) corresponde ao fator de

prática conservacionista, entendido como a relação entre as perdas do solo de uma área e determinada prática que possa intensificar ou amenizar as perdas de solo.

A implementação de equações empíricas, como é o caso da equação de Wischmeier e Smith (1978), foi favorecida pelo desenvolvimento e pela acessibilidade dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os diversos *softwares* da categoria SIG permitem espacializar as variáveis que podem interferir no processo de erosão laminar e, conseqüentemente, integrar as respostas no contexto natural e intervencionado pelo homem.

Erosividade da chuva (R) – Fator de chuva e escoamento de Wischmeier e Smith (1978)

De acordo com Bertoni e Neto (2012), o fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em um solo sem cobertura vegetal. A erosividade da chuva demonstra o potencial da água precipitada em desagregar as partículas do solo e transportá-las por meio do escoamento superficial para áreas topograficamente mais rebaixadas.

Ao considerar constantes os fatores que interferem na perda de solo, à exceção das chuvas, diversos foram os trabalhos que observaram que as perdas de solos são proporcionais ao produto da energia cinética total e à intensidade máxima da chuva. Isso significa que a capacidade da chuva de proporcionar a desagregação das partículas de solo é diretamente proporcional ao tamanho das gotas, bem como à intensidade de precipitação.

Wischmeier e Smith (1978) sugeriram o índice de erosão, que se baseia na intensidade de precipitações com duração de 30 minutos. Entretanto, devido à escassez de dados detalhados, dotados de longas séries históricas de registros pluviométricos, essa metodologia torna-se impraticável em muitos lugares, como no caso da bacia hidrográfica em estudo, cujos registros pluviométricos são diários.

Diante desse problema, diversos métodos foram desenvolvidos para simplificar a obtenção do Índice de Erosividade, dentre os quais merece destaque aqueles propostos por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) representado pelo produto da energia cinética pela intensidade máxima em 30 minutos, foi calculado para chuvas individuais, para Campinas (SP) e Bertoni e Lombardi Neto (2012). Esses autores buscaram correlações entre o Índice de Erosividade (R) e as características de eventos de chuvas de mensuração mais fácil, sem a necessidade

da intensidade da precipitação, propriamente dita.

Bertoni e Lombardi Neto (2012) sugeriram que a equação para determinação da erosividade da chuva pode considerar valores de precipitação média mensal e anual, já que o índice de erosividade anual das precipitações de um local é dado pelo somatório dos valores dos índices médios mensais de erosividade.

Sob a perspectiva descrita, a erosividade das chuvas da bacia do rio Coreau foi estimada para 14 postos pluviométricos da área, por meio da Equação 2, proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2012) para o município de Campinas (SP).

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

EI consiste na média mensal do Índice de Erosão (MJ; mm/ha.L), *r* representa a precipitação mensal do mês considerado (mm) e *P* retrata a precipitação média anual da série considerada (mm). A seleção dos postos pluviométricos levou em consideração pelo menos um posto para cada sub-bacia, com período de registros acima de 15 anos (Figura 2).

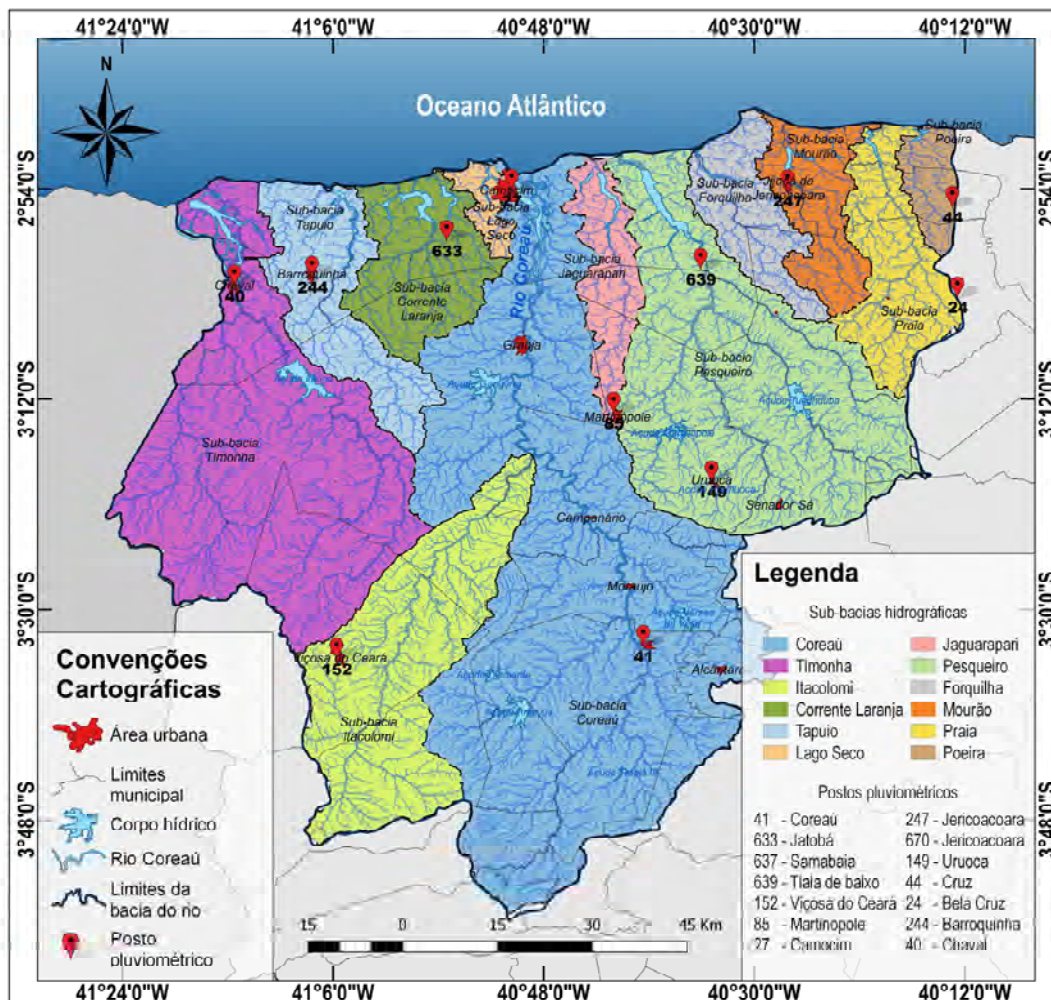


Figura 2 – Sub-bacias e Postos Pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Coreau. Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

As séries de registros pluviométricos foram previamente submetidas a uma análise de consistência dos dados, por meio de validação básica de limites de valores fisicamente possíveis e adequados às características climáticas da área de estudo. Posteriormente, foi realizada a validação temporal, através da comparação

dos dados registrados com os dados dos dias anterior e posterior e dos anos anteriores. Também foi desenvolvida a validação espacial, através de metodologia proposta por Baba *et al.* (2014), em que os resultados são comparados com dados de outros postos vizinhos por meio de técnicas estatísticas, como regressão linear.

Com o auxílio da ferramenta de interpolação de dados do Qgis, os valores dos índices de erosividade para os 14 postos pluviométricos foram intercalados com o método inverso do quadrado da distância, gerando, assim, uma grade matricial com a distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Coreau.

A Tabela 1 apresenta as classes de interpretação para Índices de Erosividade, propostas por Carvalho (1994).

Tabela 1: Classes de interpretação para os índices de erosividade.

INTERVALO (MJ mm/ha L)	INTERPRETAÇÃO DA EROSIVIDADE
R < 250	Baixa
250 > R < 500	Média
500 > R < 750	Média a Forte
750 > R < 1000	Forte
R > 1000	Muito Forte

Fonte: Carvalho (1994).

Fator de erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade é uma propriedade inerente ao tipo de solo, sendo definida pela velocidade de infiltração,

permeabilidade e capacidade de armazenamento de água no solo, além da resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte das partículas de solo pela água (BERTONI e NETO, 2012).

A obtenção do fator de erodibilidade do solo (K) ocorre por análises experimentais, sendo determinado pela quantidade de perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva. Essa metodologia baseia-se na observação da quantidade de solo erodida em determinada área, delimitada por 25 m de comprimento, 4 m de largura e um declive de 9%. Entretanto, a metodologia recomenda que para a obtenção do fator K, a observação temporal deve ser de vários anos para que seja possível mensurá-lo definitivamente. Apesar dessa limitação, diversos pesquisadores desenvolveram experimentos para a obtenção do fator K aplicável aos mais variados tipos de solos brasileiros, dentre os quais é possível destacar Correchel (2003), Albuquerque *et al.* (2005) e Farinasso *et al.* (2006).

Diante das limitações citadas, optou-se por adotar os fatores de erodibilidade do solo disponíveis na literatura, considerando as classes de solo com características físicas semelhantes àquelas da área da bacia do rio Coreau (Tabela 2).

Tabela 2: Valores do fator de erodibilidade (K) e respectivas fontes.

TIPO DE SOLO	FATOR DE ERODIBILIDADE (K)	FONTE
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,044	Correchel (2003)
Gleissolo Sálico Órtico	0,045	Marques <i>et al.</i> (1997)
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,010	Silva <i>et al.</i> (1994)
Luvisolo Crômico Órtico	0,013	Albuquerque (2005)
Neossolo Quartzênico	0,009	Correchel (2003)
Neossolo Litólico	0,036	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Planossolo Háptico	0,057	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Planossolo Hidromórfico	0,057	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Vertissolo	0,045	Marques <i>et al.</i> (1997)

Os valores para o fator de erodibilidade, mencionados na Tabela 2, foram associados às classes de solos levantadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1972) e, posteriormente, reclassificadas conforme nova classificação de solos (IBGE, 2016), na escala 1:250.000. A associação se deu pelos centroides dos polígonos de solos, intercalados pelo

inverso da distância, formando uma camada matricial com a espacialização do fator de erodibilidade da USLE.

Comprimento de rampa e grau de declive (LS)

O fator topográfico (LS) da USLE representa o comprimento da rampa e o grau de declive. Ambos são

importantes fatores relacionados ao relevo, que interferem na intensidade do escoamento superficial e, por consequência, no grau de erosão do solo.

No âmbito do geoprocessamento, a estimativa do comprimento de rampa se dá pelo conceito de área de contribuição, obtido a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE). Nessa metodologia, a forma do relevo descrita pelo MDE modela a influência sobre os processos erosivos causados pela concentração e pela velocidade do escoamento superficial.

Dentre as diversas metodologias para obtenção do fator LS, optou-se pela metodologia proposta por Moore *et al.* (1991), devido à facilidade de processamento e à ampla aplicação na literatura consultada (Equação 3).

$$LS = (n+1) \left(\frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Na equação, n designa o número de células que contribuem para o fluxo na célula atual, V representa a acumulação do fluxo multiplicada pelo tamanho da célula, e θ é o ângulo da declividade em graus.

O cálculo do fator LS foi obtido pela ferramenta calculadora *raster* do *software Qgis 2.18*, tendo por entrada o MDE *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial do *pixel* de 30 m. Também foram usados os algoritmos *Catchment Area* pelo método *Multiple Flow Direction* conforme QUINN *et al.* (1991 Apud QGIS, 2016) e *Slope* baseado em HORN (1981 Apud QGIS, 2016), respectivamente, para obter as camadas de área de contribuição e declividade.

Uso e manejo do solo (C)

As reduções das perdas de solo por meio da erosão são diretamente proporcionais à capacidade da vegetação de protegê-lo contra as intempéries ocasionadas pelo escoamento superficial. De acordo com Bertoni e Neto (2012), as perdas de solo dependem tanto da cobertura vegetal em si quanto da sequência de culturas, das práticas de manejo e do estágio de crescimento das culturas em áreas agricultáveis. Entretanto, mesmo em áreas onde o solo não está sendo necessariamente cultivado, existem diversos usos (inclusive a preservação) que interferem na quantidade de solo perdido pela erosão.

A obtenção do fator C se deu pela classificação

supervisionada das imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8, cenas 218/63 e 218/62 capturadas em 12 de agosto de 2014, faixas espectrais 4, 5 e 6, tendo por categorias Água, Caatinga, Agricultura, Solo exposto, Afloramento rochoso, Vegetação preservada, Urbano. Posteriormente, a camada de uso e a ocupação tiveram seus valores reclassificados, correspondendo ao fator C (Tabela 3).

Tabela 3: Valores do fator de uso e manejo do solo (C), relacionados às categorias de uso e à ocupação da terra.

CATEGORIA DE USO E COBERTURA	FATOR DE USO E MANEJO (C)
Água	0,000000
Caatinga	0,017800
Agricultura	0,542900
Solo exposto	0,100000
Afloramento rochoso	0,000001
Vegetação preservada	0,000100
Urbano	0,000050

Fonte: Adaptado de Bertoni e Neto (2012).

Práticas conservacionistas (P)

O fator P representa a relação entre a intensidade de perdas do solo esperada e determinadas práticas conservacionistas, sejam elas o plantio em curvas de nível, o plantio morro abaixo, a preservação da cobertura vegetal original, dentre outras. A Tabela 4 apresenta alguns valores para o fator P, adotando as práticas conservacionistas mais comuns.

Tabela 4: Valores de práticas conservacionistas do solo (P).

PRÁTICA DE CONSERVAÇÃO	FATOR DE PRÁTICA CONSERVACIONISTA (C)
Plantio morro abaixo	1,00
Plantio em curva-de-nível	0,50
Alternância de plantios em curva de nível e áreas sem cultivo	0,40
Corredores de vegetação	0,20
Áreas de vegetação preservada	0,05
Outros (água, urbano)	0,00

Fonte: Adaptado de Bertoni e Neto (2012).

Assim como para o fator C, a imagem, inicialmente classificada de acordo com os usos e ocupação da bacia do rio Coreaú, foi reclassificada para assumir os valores do fator de práticas conservacionistas com a ferramenta *r.reclass*, do *Grass GIS*.

Por fim, o produto das cinco camadas de dados obtidas, para as variáveis R, K, LS, C e P da equação USLE foi calculado por meio da calculadora *Raster*, do *Qgis*, e o seu resultado foi espacializado por meio de mapas temáticos.

3. Resultados e discussão

Os resultados das análises de erosividade das chuvas para as sub-bacias da bacia do rio Coreaú revelaram valores que variam entre 561,4292 e 971,9051 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com valor médio de 686,9384 MJ.mm/h.ha. Assim, o fator R calculado para bacia do rio Coreaú pode ser classificado como sendo de intensidade variando de média a forte (Tabela 5).

Tabela 5: Erosividade das chuvas para as sub-bacias da bacia do rio Coreaú.

SUB-BACIA	EROSIVIDADE (R) MJ.mm/h.ha			
	MINIMA	MÁXIMA	MÉDIA	CLASSE DE EROSIVIDADE
Coreaú	589,9049	969,2352	691,0310	Média a Forte
Corrente Laranja	678,1757	971,9039	839,3297	Forte
Forquilha	590,9084	620,8277	605,4922	Média a Forte
Itacolomi	701,6507	775,7736	741,8339	Média a Forte
Jaguapari	613,3505	699,2767	662,0745	Média a Forte
Lago Seco	672,7832	888,3931	760,0472	Forte
Mourão	590,9082	609,4929	599,9886	Média a Forte
Pesqueiro	564,8562	672,2463	611,9972	Média a Forte
Poeira	589,1034	607,9904	603,5282	Média a Forte
Praia	561,4292	611,4386	597,8728	Média a Forte
Tapuio	636,2777	971,9052	743,2681	Média a Forte
Timonha	586,0304	876,7206	721,1004	Média a Forte
BACIA DO RIO COREAÚ	561,4292	971,9052	686,9384	Média a Forte

Fonte: Dados obtidos com a metodologia de Carvalho (1994).

A individualização dos resultados por sub-bacias (Tabela 5 e Figura 3) permite identificar os setores com maiores índices de erosividade. No caso da bacia do Coreaú, os maiores valores estão concentrados na porção a oeste do rio Coreaú, setor correspondente às sub-bacias Corrente Laranja e Lago Seco (ambas no baixo curso do rio Coreaú). Outra tendência observada é a de que os índices de erosividade diminuam gradativamente, à medida em que atingem maiores altitudes, na direção Norte-Sudoeste (sentido da Cuesta do Planalto da Ibiapaba – ver Figura 4).

As sub-bacias Coreaú e Tapuio apresentaram as maiores amplitudes de erosividade, pois ambas se encontram em uma área de transição pluviométrica, em que as médias anuais e mensais são menores. Assim, as

sub-bacias que compõem as extremidades oeste e leste da bacia do rio Coreaú apresentaram menores valores de erosividade.

De modo geral, observa-se que a pluviosidade concentra-se na divisória entre as sub-bacias Coreaú, Tapuio, Corrente Laranja e no litoral da Sub-Bacia Corrente Laranja, se estendendo até Viçosa do Ceará. Existe, portanto, uma tendência de aumento no valor de erosividade em um gradiente que é proporcional à variação da altitude. Essa constatação é comum em áreas semiáridas (AQUINO *et al.*, 2006; FARINASSO *et al.*, 2006), pois as precipitações formadas por massas de ar no oceano tendem a perder sua expressividade à medida em que adentram as temperaturas muito elevadas do continente e, conseqüentemente, reduzem o volume precipitado.

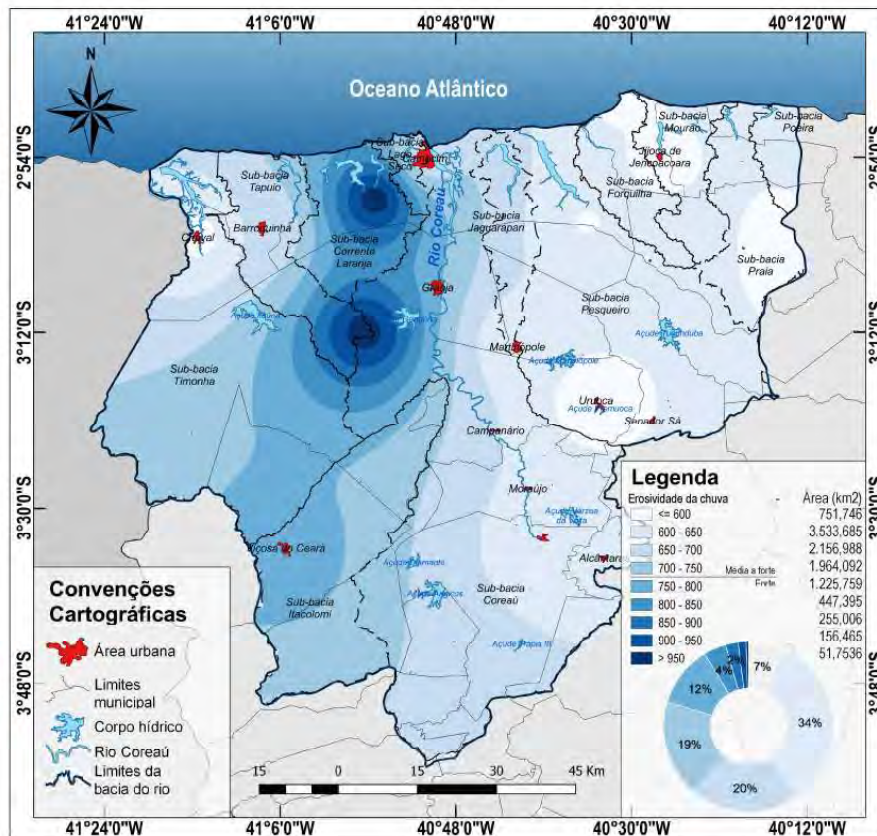


Figura 3 – Erosividade da chuva (Fator R). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

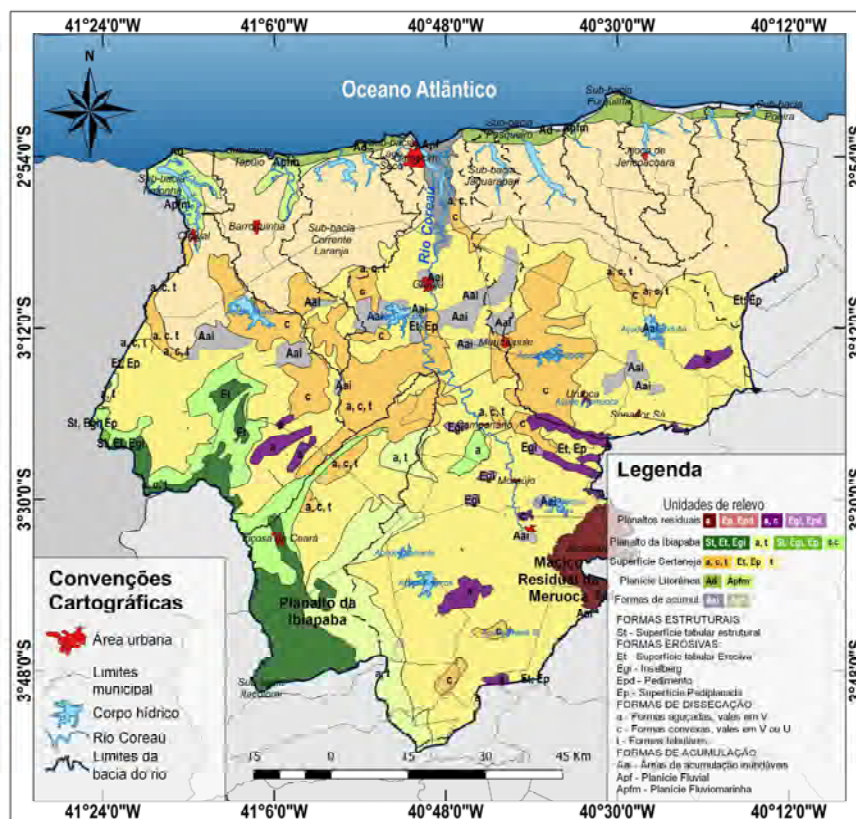


Figura 4 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Coreau. Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000. Fonte: adaptado de RADAMBRASIL (1972)

É importante ressaltar que os valores de erosividade, de modo geral, aumentam com a quantidade de precipitação, apresentando uma correlação de 99% entre os valores médios anuais de precipitação e de erosividade (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2005; AQUINO *et al.*, 2006; OLIVEIRA e SALES, 2006). Essa constatação elucida a relação direta entre a grande variabilidade dos recursos hídricos no semiárido e os processos erosivos.

Por sua vez, a erodibilidade do solo está diretamente relacionada à sua natureza/gênese e às suas características (e.g. estrutura, textura, permeabilidade e densidade). Nesse caso, o tamanho das partículas do solo (textura) influencia diretamente no seu transporte. Como exemplo, os solos arenosos possuem grandes espaços entre suas partículas, o que aumenta sua porosidade e diminui a possibilidade de escoamento superficial. Ao contrário dessa situação, temos os solos argilosos, com grande coesão entre suas partículas componentes, contribuindo para um maior escoamento superficial que, por sua vez, aumenta o volume de material carregado.

Conforme Diniz (2010), os solos da área de estudos apresentam baixa umidade e pouca capacidade de armazenamento de águas subterrâneas. Tais características contribuem para formar fácies descontínuas e

variadas, incluindo afloramentos rochosos e planícies pedregosas. Os solos da região são caracterizados pela baixa decomposição geoquímica, que é peculiar ao ambiente semiárido e ocasiona baixa fertilidade, salvo algumas manchas de exceções, como os Neossolos Flúvicos que são propícios à agricultura (CPRM, 2014). Observam-se também altas concentrações de sais, sobretudo nos Planossolos e Gleissolos Sálidos que, por estarem em contato mais direto com a drenagem excessivamente aberta e exorreica, proporcionam a acumulação de sódio.

Os solos da Depressão Sertaneja são, no geral, os menos profundos, com variação entre 50 cm e 1 m. A sua composição apresenta uma porcentagem significativamente maior de argila, com cobertura pedregosa na superfície do solo (CPRM, 2014). Nessa tipologia de solos, o horizonte A é pouco notável, enquanto o horizonte B concentra boa parte da argila, tornando-se pouco permeável e estimulador do escoamento superficial.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) são os mais representativos, junto com os Neossolos Litólicos (RL), como é possível observar na Figura 5. Em menor quantidade, estão os Luvisolos Crômicos Órticos (TC) e os Planossolos (SG+SX).

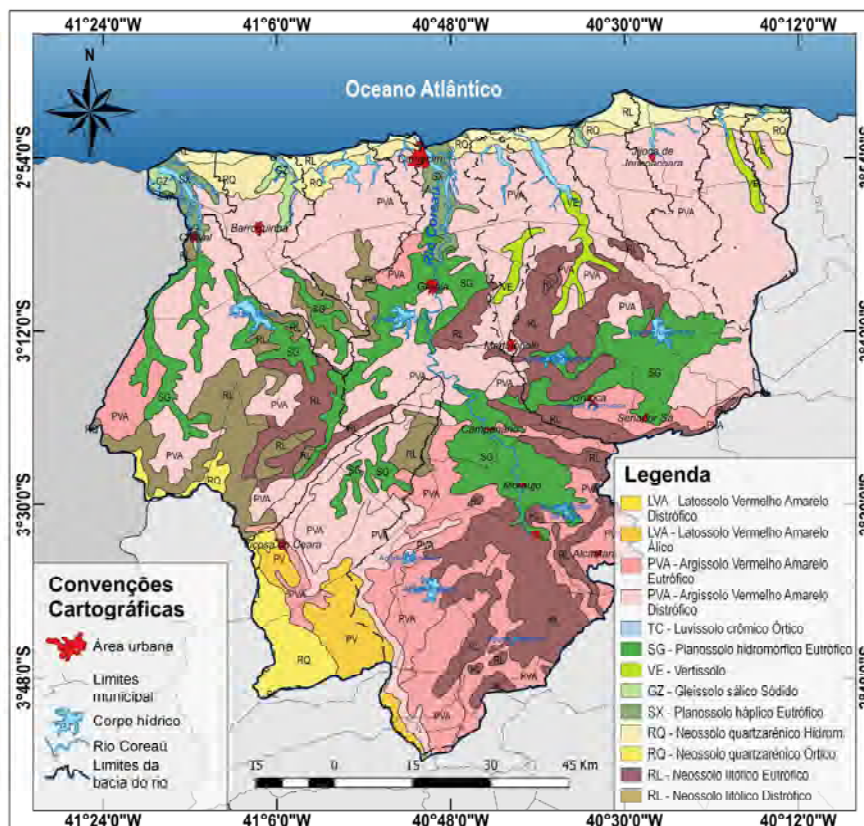


Figura 5 – Solos da bacia hidrográfica do rio Coreau. Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000. Fonte: EMBRAPA (1972).

As limitações ao uso dos solos para agricultura na Depressão Sertaneja estão relacionadas à pouca profundidade, à baixa fertilidade e à presença de fragmentos de rocha (DINIZ, 2010). Essas características limitam o uso dos solos presentes nessa formação geomorfológica para o desenvolvimento da agricultura ou de qualquer outra atividade que tenha na qualidade do solo sua principal fonte de potencialidade.

No Planalto da Ibiapaba e no Maciço Residual da Meruoca, apesar de os solos serem naturalmente pouco férteis (CPRM, 2016), eles são mais profundos e com horizonte A bem desenvolvido. Esses aspectos proporcionam o desenvolvimento de práticas agrícolas com sucesso, com destaque para a fruticultura e para a produção de subsistência de culturas anuais como milho, feijão e mandioca.

A abundância hídrica do Planalto da Ibiapaba influencia significativamente no seu quadro pedológico, que é composto, principalmente, de solos oriundos do intemperismo químico, como os Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e os Neossolos Litólicos (RL) (Figura 5).

Em face da classificação da susceptibilidade à erosão dos solos da bacia do rio Coreaú, percebe-se que

aproximadamente 21% dos solos da área total apresentam erodibilidade inferior a $0,037 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, enquanto 43% classificam-se com susceptibilidade entre $0,037$ e $0,041 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 36% apresentam susceptibilidade acima de $0,041 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Figura 6). Os Argissolos Vermelho-Amarelos, junto com os Planossolos e os Vertissolos, são os que mais facilmente podem ser erodidos na área em estudo, enquanto que os Neossolos Litólicos apresentam resistência intermediária à erosão. Por outro lado, os Latossolos apresentam o menor fator de erodibilidade.

A alta erodibilidade dos Planossolos está relacionada à sua formação por materiais originários do Pré-cambriano e/ou dos sedimentos argilosos e siltosos pertencentes ao Holoceno. Esses solos apresentam horizonte B textural com argila em alta quantidade e perfil A-Bt-C ou A-E-Bt-C (DINIZ, 2010). Eles são constituídos, portanto, por materiais densos e muito coesos entre si, o que dificulta a absorção da água e estimula o escoamento superficial, que transporta, sem muita dificuldade, as partículas de solos. Esses solos estão dispersos por quase toda a bacia do rio Coreaú e, em especial, nas áreas mais planas, formadas por processos de pediplanação.

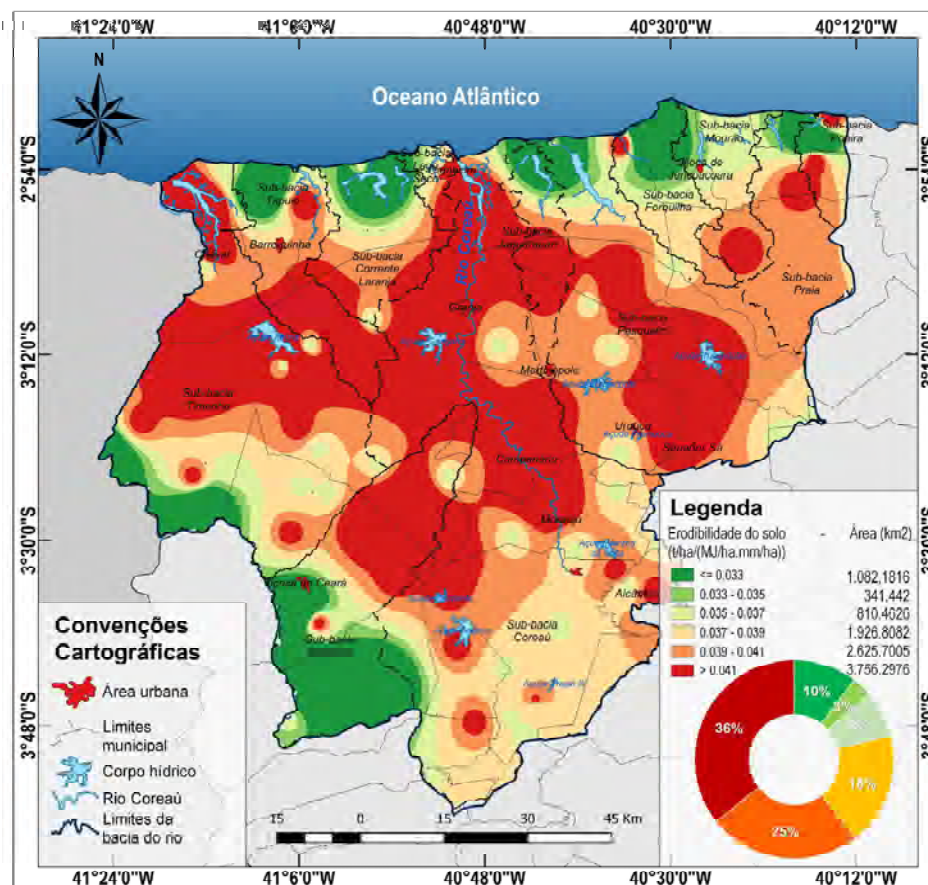


Figura 6 – Erodibilidade do solo (Fator K). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

Assim como os Planossolos, os Argissolos também estão dispersos por quase toda a bacia do rio Coreaú e apresentam, geralmente, grande quantidade de argila, o que resulta em processos erosivos semelhantes aos Planossolos. Por sua vez, os Vertissolos localizam-se principalmente nas áreas de várzea dos rios e os Gleissolos nos baixos cursos. Estes solos também apresentam baixa resistência à erosão, devido à textura muito argilosa. Isso resulta em uma grande movimentação da massa do solo ao se contrair e formar fissuras, quando contém baixa quantidade de água, e, ao se expandir, quando úmidos (PEREIRA e SILVA, 2007).

Os Neossolos estão presentes nos leitos dos rios e na zona litorânea, sendo caracterizados por baixos teores de argilas (menos de 15%) (DINIZ, 2010). Isso confere uma alta resistência à erosão hídrica, pois, assim, dissipam melhor o impacto da água precipitada, apesar de os baixos teores de argila implicarem uma menor coesão dos elementos do solo. Além disso, os Neossolos são profundos e excessivamente drenados, diminuindo o escoamento superficial e, por consequência, o deslocamento das partículas dissociadas.

Apesar de apresentar textura mais argilosa do que os Neossolos, sobretudo no horizonte Bw, os Latossolos são muito profundos no Planalto da Ibiapaba. Esse aspecto, aliado à formação geológica sedimentar da área, que proporciona uma estrutura pedológica com alta capacidade de absorção e armazenamento hídrico, também contribui para diminuir os impactos da erosão.

A partir da análise da Figura 6, é possível destacar que a Depressão Sertaneja é, por excelência, a área que concentra os maiores valores de erodibilidade dos solos, graças à associação de Planossolos, Vertissolos e Argissolos. Os dados da Tabela 6, gerada através de interpolação das feições de solos, também demonstram que as sub-bacias, que concentram a maior porção da Depressão Sertaneja (Coreaú e Pesqueiro), apresentam os maiores valores de erodibilidade, tanto para as médias quanto para as máximas.

O fator topográfico ressalta uma grande variação ao longo da bacia do rio Coreaú, com destaque para as sub-bacias que incorporam os relevos do Maciço Residual da Meruoca e o Planalto da Ibiapaba (Coreaú, Itacolomi e Timonha), pois as altas declividades dessas áreas assumem papel crucial no aumento significativo das perdas de solos. Na Figura 7, é possível observar que aproximadamente 52% da área da bacia do rio Coreaú apresenta o fator topográfico abaixo de 1; enquanto que

34% possui fator topográfico entre 1 e 4; e apenas 14% tem alto fator topográfico acima de 4.

Tabela 6: Erodibilidade dos solos para as sub-bacias da bacia do rio Coreaú.

SUB-BACIA	ERODIBILIDADE (K) t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹		
	MINIMA	MÁXIMA	MÉDIA
Coreaú	0,01965	0,05700	0,04042
Corrente Laranja	0,00900	0,04481	0,03611
Forquilha	0,00900	0,04500	0,03471
Itacolomi	0,00900	0,05700	0,03493
Jaguapari	0,00971	0,04500	0,03780
Lago Seco	0,02934	0,05109	0,03902
Mourão	0,01962	0,04299	0,03668
Pesqueiro	0,00900	0,05700	0,04029
Poeira	0,00900	0,04500	0,03551
Praia	0,02336	0,04500	0,03900
Tapuio	0,00900	0,05700	0,03910
Timonha	0,00900	0,05700	0,03955
BACIA DO RIO COREAÚ	0,00900	0,05700	0,03894

As sub-bacias Mourão e Praia apresentam as maiores médias para o fator de uso e manejo do solo (Figura 8), pois são áreas com grande concentração de solo exposto e práticas agrícolas. Por outro lado, a presença da Caatinga Arbustiva, que recobre boa parte da Depressão Sertaneja, confere-lhe valores intermediários para o fator C (Fator de uso e manejo). Os menores valores para esta variável estão centrados nos locais onde a vegetação é mais densa, com usos menos intensivos e agressivos à cobertura vegetal. Nesse caso, destacam-se as sub-bacias litorâneas, como Corrente Laranja, Lago Seco e Jaguapari.

As práticas agrícolas desenvolvidas na bacia do rio Coreaú são geralmente rudimentares, estando baseadas na remoção completa da vegetação ou na queima da cobertura vegetal para cultivo de culturas anuais, com destaque para a área da Depressão Sertaneja, com baixos valores do fator de práticas de conservação do solo. No baixo curso do rio Coreaú, desenvolvem-se atividades agrícolas que resultam em altos valores do fator de práticas de conservação do solo, pois reúne imensas áreas de produção de caju, milho, feijão e carnicultura (agricultura perene), apesar de não apresentar maiores preocupações com a redução dos impactos dos processos erosivos (Figura 9).

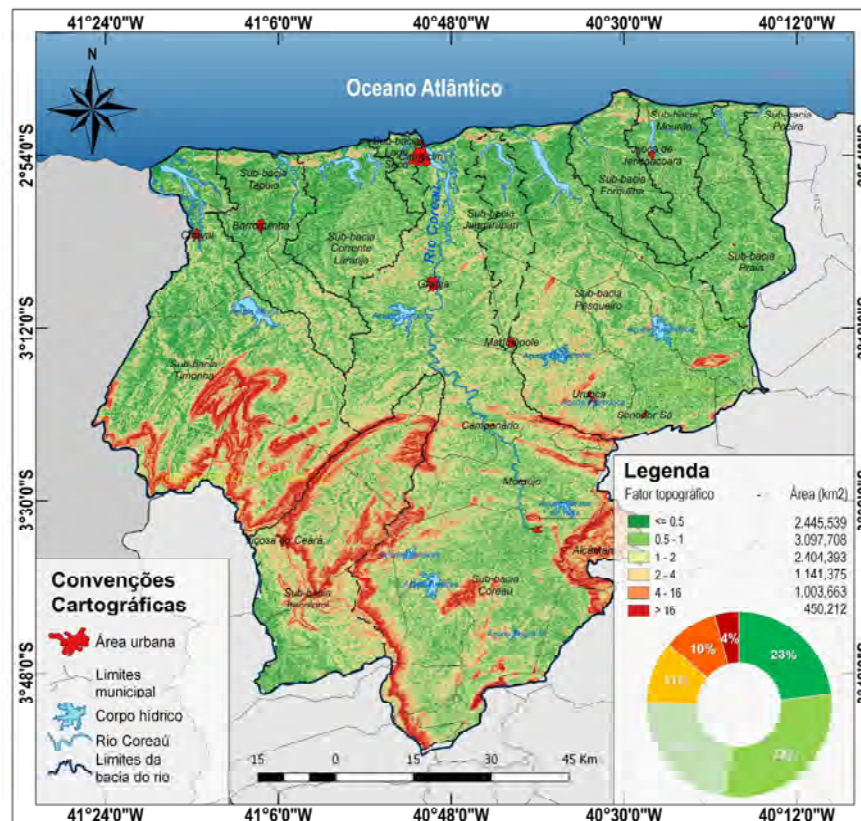


Figura 7 – Comprimento de Rampa e Grau de declividade (Fator LS). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

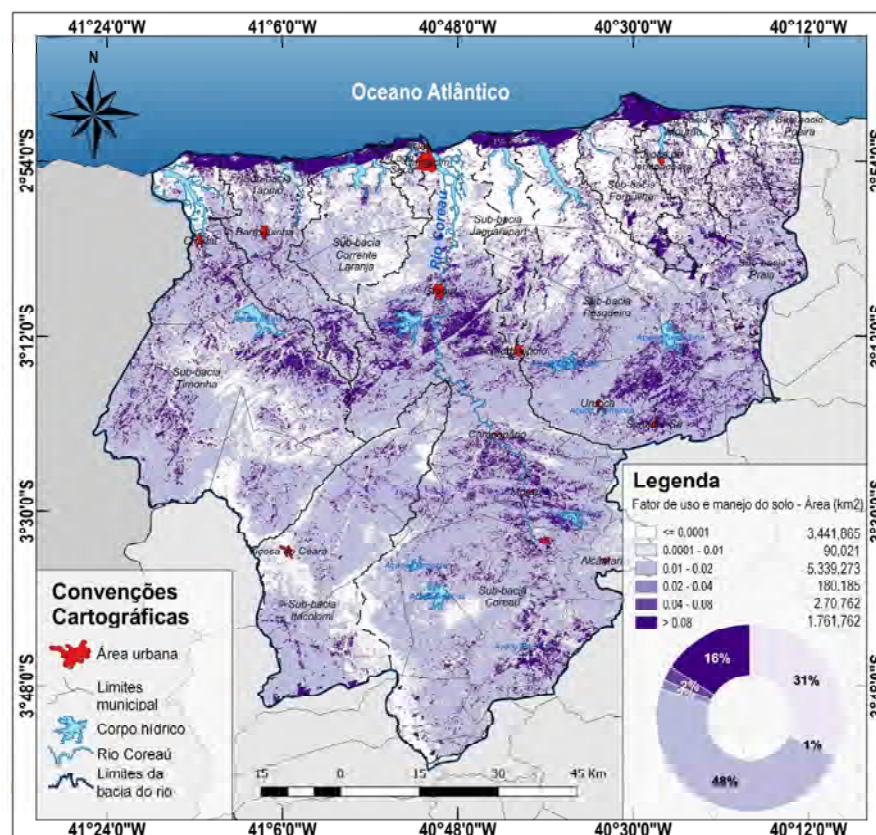


Figura 8 – Uso e manejo do solo (Fator C). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

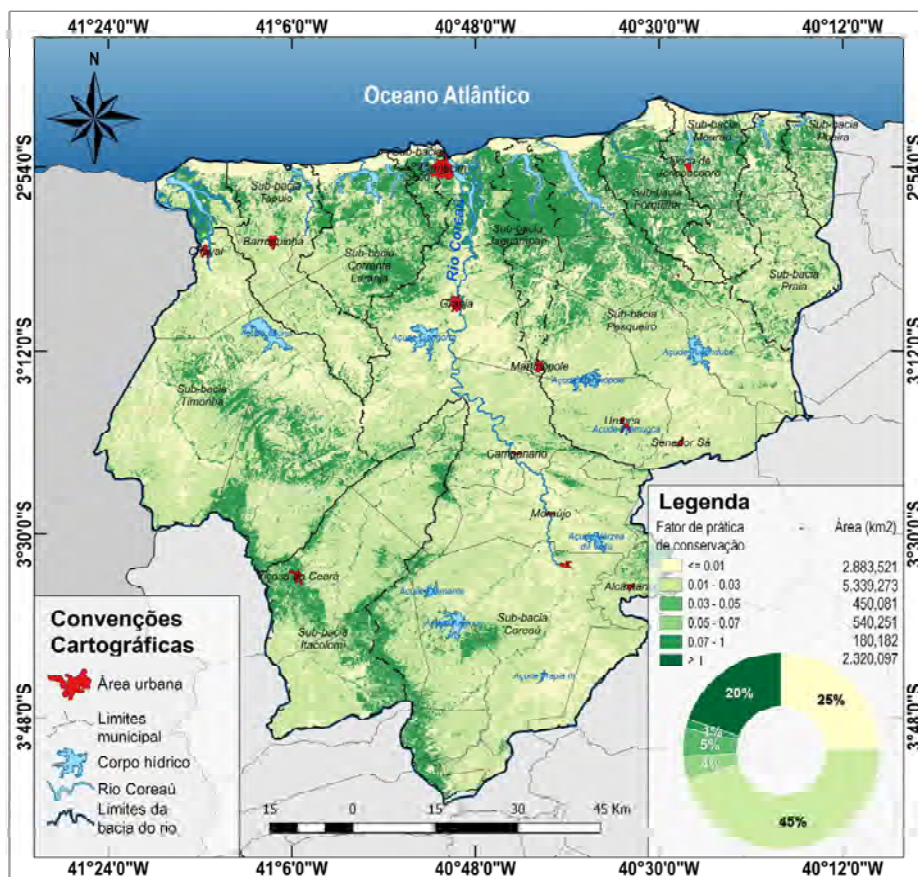


Figura 9 – Práticas de conservação (Fator P). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

Com base nos resultados obtidos pela USLE, na bacia do rio Coreaú perde-se, em média, 15,80 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de solos, conforme calculado por meio do modelo USLE (Tabela 7). Todavia, o valor máximo pode atingir 1.206,90 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em áreas que combinam altos valores de declividade, uso intensivo e solo exposto, como no Maciço Residual da Meruoca e em alguns Inselbergs localizados ao longo da bacia.

Os resultados mostraram também que 993,709 Km² da bacia do rio Coreaú apresentam perda anual de solo acima de 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹, o que equivale a 9,4 % da área da pesquisa (Figura 10). Nessas áreas, os processos erosivos são bem mais intensos e, muitas vezes, ocorrem diretamente sobre a rocha exposta, pois o solo já foi totalmente carreado.

Dadas as variáveis que podem interferir na erosão, percebe-se com clareza uma maior aproximação entre a espacialização do fator topográfico e a intensidade potencial da erosão. Essa constatação fundamenta-se em:

- O clima semiárido contribui para altos valores de

erodibilidade em toda a bacia do rio Coreaú, pois, apesar da variação na quantidade de precipitação registrada entre os postos pluviométricos, persistem concentrações ao longo de quatro ou cinco meses do ano, com precipitações intensas, mesmo em áreas de exceção climática;

- Os tipos de solos da bacia, quase em sua totalidade, apresentam alto fator de erodibilidade, com pouca variação, à exceção dos Neossolos Quartzênicos e dos Latossolos Vermelho-Amarelos, o que contribui, portanto, para altos valores estimados de perda de solos, interferindo minimamente na sua amplitude final;
- O fator de erosividade das chuvas é mais intenso na margem esquerda do rio Coreaú (Sub-bacias Lago Seco e Corrente Laranja) devido às maiores altitudes e consequente maiores valores de umidade e precipitação. Apesar de que ali observa-se a presença de Neossolos Quartzênicos, com baixos valores de erodibilidade;
- Os fatores de uso e manejo do solo e de práticas

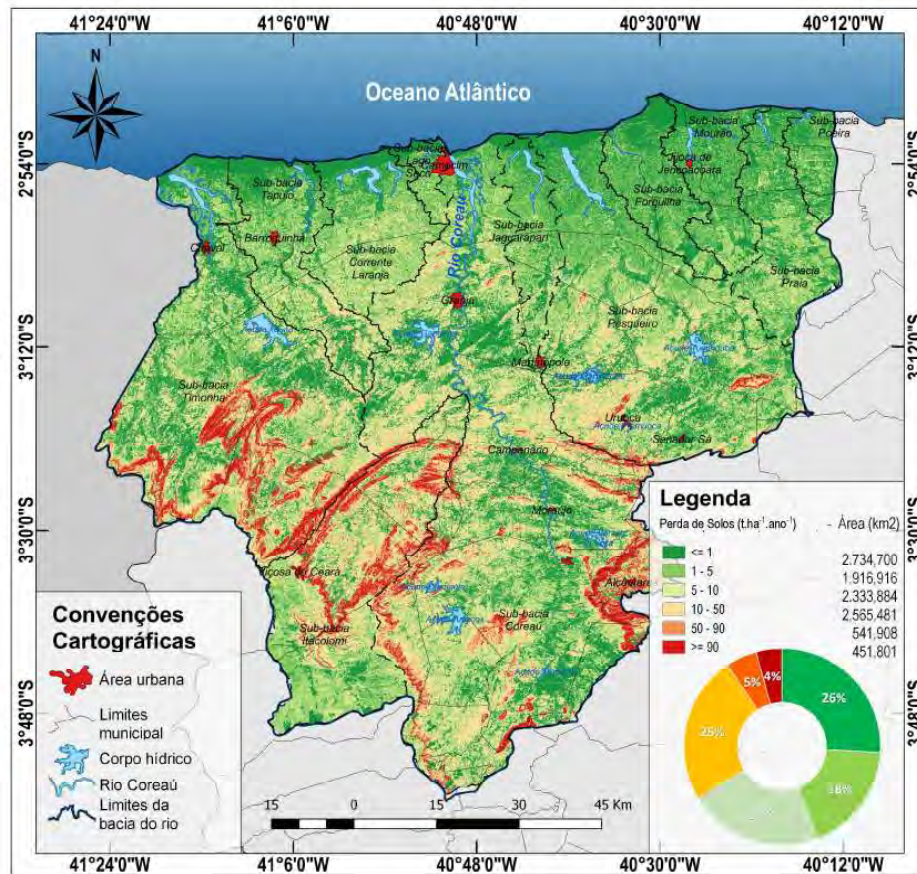


Figura 10 – Perda de solos (Equação Universal de Perda de Solos – USLE). Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000.

conservacionistas também apresentaram baixa variabilidade, graças às culturas anuais, que tendem a deixar o solo exposto por boa parte do ano, e à pouca capacidade da Caatinga de Interceptação das chuvas e, por consequência, da sua capacidade de erosão;

- Por sua vez, a existência de usos dos solos muito peculiares a cada unidade geomorfológica – como a preservação da vegetação no Planalto da Ibiapaba, a agricultura muito intensiva no Maciço Residual da Meruoca, a presença dos maiores núcleos urbanos e práticas agroextrativistas nas planícies fluviais – contribui para uma ratificação da importância do relevo no processo de erosão;
- Os valores de erodibilidade e a descaracterização da Caatinga conferem à Depressão Sertaneja altos índices de perdas de solos, mesmo em áreas de pediplanação, onde deveriam prevalecer processos de acumulação de sedimentos. É possível observar esse aspecto na Figura 10.

Tabela 7: Perda de solos estimada para as sub-bacias da bacia do rio Coreau.

SUB-BACIA	PERDA DE SOLOS (A) t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹		
	MÁXIMO	MÉDIA	TOTAL
Coreau	791,85	18,30	68.376.300,00
Corrente Laranja	190,69	4,20	2.212.950,00
Forquilha	74,180	1,60	649.887,00
Itacolomi	803,51	31,10	35.739.400,00
Jaguapari	96,940	2,80	900.980,00
Lago Seco	55,780	2,40	236.157,00
Mourão	87,460	1,40	463.992,00
Pesqueiro	425,11	8,30	15.683.400,00
Poeira	83,660	1,80	284.994,00
Praia	93,160	2,70	1.390.980,00
Tapuio	129,45	4,90	2.788.510,00
Timonha	1.206,90	27,80	57.277.600,00
BACIA DO RIO COREAU	1.206,90	15,80	186.007.000,00

4. Considerações finais

Por meio de recursos estatísticos, foram realizadas análises da série histórica de precipitações pluviométricas, que permitiram o levantamento do fator de erosividade das chuvas na bacia do rio Coreaú. Informações sobre as características físicas dos solos, Modelos Digitais de Elevação e Imagens de Satélite subsidiaram a construção de um Banco de Dados Geográficos, que permitiu o levantamento das demais variáveis da Equação Universal de Perda de Solos, com resultados satisfatórios aos estudos de perda de solos na escala de bacia.

A metodologia implementada favoreceu a obtenção de dados que podem orientar o planejamento ambiental de uso dos solos na bacia do rio Coreaú, apontando aqueles solos com maiores perdas por erosão laminar, onde a combinação dos diferentes fatores de erosão tende a originar processos mais intensos de perda de solos, como nos maciços residuais e Inselbergs. Entretanto, ressalta-se a necessidade da produção e disponibilização de dados detalhados de monitoramento da erosão pelos órgãos oficiais competentes em longo prazo, uma vez que são indispensáveis à tomada de decisões para reduzir as taxas de erosão.

Os resultados demonstraram que a combinação dos fatores erosivos do solo em bacias semiáridas tende a altos valores, quando comparados com a literatura especializada, sendo resultantes da combinação de relevos com grande variação topográfica e, portanto, altas declividades, associadas a precipitações geralmente intensas e ao uso e ocupação baseados em práticas, como a remoção completa da cobertura vegetal. Essas condições são favoráveis ao aumento do escoamento superficial e das forças de desagregação e transporte das partículas de solo.

Assim, esta pesquisa destaca que o planejamento do uso e manejo dos solos na bacia hidrográfica do rio Coreaú, comprometido com a preservação dos solos e a manutenção da qualidade ambiental, deve levar em consideração as peculiaridades internas de cada sub-bacia, pois, sob essa perspectiva, será possível anteceder e precaver eventos causadores de desequilíbrios ao sistema ambiental e à qualidade de vida da sociedade residente na área de estudo. Contudo, ressalta-se que é necessário que a sociedade, por meio de suas entidades representativas, promova avaliação e readaptações das formas de uso e ocupação da bacia do rio Coreaú, por

meio do planejamento ambiental e aumento do compromisso em implementar os instrumentos da legislação de uso e ocupação da terra baseados em ferramentas avaliativas e de monitoramento como o presente estudo.

5. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sou grato pela concessão de bolsa durante o período de estudos. Aos Programas de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú e da Universidade Estadual do Ceará, por todo o apoio.

6. Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. W. de; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 9, n. 2, p. 153–160, 2005.
- AQUINO, C. M. S. de; OLIVEIRA, J. G. B. de; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. v. 37, n. 3, p. 287–291, 2006.
- BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 515–526, jan. 2014.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. Models in Geomorphology. In: **Models in Geography**. Londres: Methuen & Co, 1967. p. 43–96
- CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade através da técnica da análise da redistribuição do Fallout do CS** (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 1 jan. 2016.
- DINIZ, S. F. **Caracterização fisiográfica e pedológica da região norte do estado do Ceará** (Tese de doutorado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- EMBRAPA. **Levantamento exploratório: Reconhecimento**

- de solos do Estado do Ceará, Fortaleza: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Escala 1: 250.000. 1972.
- FARINASSO, M.; JÚNIOR, O. A. de C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Recife. v. 7, n. 2, p. 73–85, 2006.
- FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 5 jan. 2016.
- HUTTON, C. J. **Modelling Geomorphic Systems: Numerical Modelling: Geomorphological Techniques**. Londres: British Society for Geomorphology, 2012.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 1 jan. 2016.
- IBGE. **Banco de dados geográficos**. Disponível em: <<http://downloads.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 8 maio. 2017.
- ÍRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, p. 30–37, 2007.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. M. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189–196, 1992.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; COROLINO DE SÁ, M. A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 447–456, 1997.
- MOORE, J. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 3–30, 1991.
- PEREIRA, R. C. M.; SILVA, E. V. da. Solos e vegetação do Ceará: Características gerais. In: BORZACCHIELLO, J.; (ORG), T. C. E. D. (Org.). **Ceará: Um novo olhar geográfico**. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 189–210
- QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Versão 2.18. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 1 fev. 2016.
- SILVA, J. R. C. Fatores da Equação Universal de Perda de Solo e sua conversão para o Sistema Métrico Internacional. **Ciências agrônômicas**, Fortaleza. v. 16, n. 2, p. 77–82, 1985.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, M. S. de; MARTINS, F.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p. 1751–1761, 1994.
- SOUSA, F. R. C. de. **Modelagem do sistema hidrológico da bacia hidrográfica do rio Coreaú (Ceará – Brasil): Vulnerabilidade versus planejamento ambiental** (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2018.
- VIEIRA, V.F. Estimativa de perdas de solo por erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica. In: **Geografia**, v. 17, n. 1, p. 73-81, 2008.
- WANG, G., GERTNER, G., LIU, X., & ANDERSON, A. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. **Catena**. v. 46, p. 1-14, 2001.
- WISHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.