

Aspectos morfodinâmicos de processos erosivos por meio de SIG no município de Itacuruba – semiárido de Pernambuco

Ilamar Antonio da Silva^{1*}, Kleber Carvalho Lima²

¹Mestrando do Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade de Pernambuco – Campus de Garanhuns, Brasil. (*Autor correspondente: ilamar.silva@upe.br)

²Doutor, docente do Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade de Pernambuco – Campus de Garanhuns, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 27/02/2024 – Revisado em: 02/04/2024 – Aceito em: 01/05/2024

RESUMO

A degradação dos terrenos por processos erosivos tem sido considerada como um dos graves problemas ambientais em regiões seca. Do ponto de vista geomorfológico, a erosão está relacionada a processos morfodinâmicos que, devido a usos inadequados da terra, podem causar desequilíbrio na relação erosão-sedimentação e, consequentemente, degradação dos ambientes. Dito isso, o objetivo da pesquisa foi analisar as contribuições metodológicas apresentadas por propostas de mapeamento do relevo em nível de detalhe, na bacia hidrográfica do Boi - Itacuruba, semiárido de Pernambuco, que enfatizam processos erosivos. Para isso, foram utilizados ortofotos e MDT do PE3D para se mapear feições erosivas lineares na escala 1:5000 em SIG, a serem utilizadas em duas propostas metodológicas. Na carta de morfoconservação dos terrenos, foram representadas as erosões lineares em conjunto com classes de uso e cobertura da terra, cujos dados indicaram setores prioritários para ações de recuperação ambiental. A carta de densidade de feições erosivas lineares, por sua vez, demonstrou os setores onde a densidade de erosão linear em m/m^2 é maior; indicando os setores prioritários para ações de controle e prevenção de erosões. Apesar dos procedimentos técnicos de execução das duas propostas em SIG serem complexos, considera-se que as cartas podem ser utilizadas como instrumentos técnicos eficazes para subsidiar ações de gestores voltadas ao planejamento, gestão e recuperação de terrenos degradados por erosão no semiárido.

Palavras-Chaves: Erosão hídrica; SIG; Cartografia geomorfológica; LIDAR.

Morphodynamic aspects of erosion processes using GIS in the municipality of Itacuruba – semi-arid region of Pernambuco (Brazil)

ABSTRACT

Land degradation by erosion processes has been considered one of the serious environmental problems in dry regions. From a geomorphological point of view, erosion is related to morphodynamical processes that, due to inappropriate land use, can cause an imbalance in the erosion-sedimentation relationship and, consequently, environmental degradation. That said, the objective of the research was to analyze the methodological contributions presented by proposals for mapping the relief at a detailed level, in the Boi-Itacuruba River basin, semi-arid region of Pernambuco/Brazil, which emphasize erosion processes. For this, orthophotos and DEM from PE3D were used to map linear erosion features on a 1:5000 scale in GIS, to be used in two methodological proposals. In the land Morphoconservation map, linear erosion was represented together with classes of land use and cover, whose data indicated priority sectors for environmental recovery actions. The map of density linear erosion features, in turn, demonstrated the sectors where the linear erosion density in m/m^2 is greater; indicating the priority sectors for erosion control and prevention actions. Although the technical procedures for implementing the two GIS proposals are complex, it is considered that the charts can be used as effective technical instruments to support managers' actions aimed at planning, managing and recovering land degraded by erosion in the semi-arid region.

Keywords: Water erosion; GIS; Geomorphological mapping; LIDAR.

Silva, I A., Lima, K C, (2024). Aspectos morfodinâmicos de processos erosivos por meio de SIG no município de Itacuruba – semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.2, p.175-187.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

O impacto da erosão acelerada dos solos tem provocado diversos prejuízos à sociedade, uma vez que, assim como a água e o ar, os solos são um recurso fundamental para a sustentação da vida terrestre no planeta (FAO, 2015; Garcia-Ruiz et al, 2015). Por esse motivo, considera-se que a degradação dos solos é um dos possíveis e graves problemas ambientais encontrados nos últimos tempos (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Nessa linha, Goudie (2013), salienta que, dentre os diversos processos morfodinâmicos, a erosão acelerada é o que traz os maiores prejuízos.

Segundo Santos et. al. (2007), em regiões semiáridas, o processo de degradação dos solos provocado pela erosão hídrica, é um problema que vem sendo pesquisado por órgãos que buscam entender os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas do semiárido. Os processos erosivos são os grandes responsáveis pela perda de partículas do solo, eventos como chuvas concentradas em alguns meses do ano, desmatamento e produção agrícola, aceleram esse processo. Os processos de perda do solo se iniciam com a ação do splash, como aponta, (Guerra, 2010), a partir do impacto da gota d'água no solo, ocorre a desagregação de partículas, assim as partículas vão ocasionar a selagem do solo, favorecendo o escoamento superficial, onde ocorrem o transporte de sedimentos.

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação estabelece a degradação da terra como uma das principais causas da desertificação. A degradação da terra pode ser resultado de um processo ou da combinação de vários processos, abrangendo também os que resultam da atuação antrópica. Entre esses, se destacam a erosão do solo, a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo e a destruição da vegetação por períodos prolongados (BRASIL, 1998a).

Com a exploração dos recursos naturais em regiões áridas ou semiáridas, ocorreu o aumento dos problemas ambientais em muitas áreas desérticas e áreas suscetíveis à desertificação. Este processo está fortemente relacionado com os métodos e práticas da pecuária, mineração e produção agrícola, tendo em vista que muitas vezes esse processo ocorre de forma desordenada e insustentável, esses aspectos podem sofrer influência também das mudanças climáticas, e assim comprometem a dinâmica social (ONU, 1997) e a cessação da produção constante. Esses fatores podem afetar grandes e pequenas propriedades rurais, que dependem exclusivamente das terras para subsistência. Grande parte dos solos encontrados no semiárido tem baixo potencial de produção agrícola, e elevada vulnerabilidade à erosão, que podem ser causadas pelas limitações na rede de drenagem ou pelo baixo teor de carbono orgânico (Giongo et al., 2011).

Perante os problemas ambientais que ocorrem em diferentes aspectos e níveis, a Geomorfologia é essencial e serve como base para agregar os estudos ambientais e ações de recuperação de áreas degradadas ou com suscetibilidade à degradação, além de ser extremamente útil para uma melhor gestão dos recursos e para proteger a qualidade de vida das pessoas em um determinado ambiente (Guerra; Marcal, 2006).

O uso desordenado, abusivo e precário do solo é um dos fatores primordiais que condicionam a desertificação e a perda dos nutrientes do solo, estão ligadas a unidades geomorfológicas, se tornando fatores primordiais para o funcionamento do espaço e de como ele se organiza (Ross, 2006). Algumas atividades agrícolas, por vezes, têm tido práticas de forma desordenada e sem um manejo adequado, onde não tem um acompanhamento adequado de profissionais que podem orientar a população para um manejo adequado, assim as atividades praticadas levam à redução dos recursos ambientais, modificando a vegetação, sendo, portanto, degradada e assim causando impacto ao solo, a hidrografia, o clima, fazendo com que a sociedade sofra consequências futuras.

Os impactos ambientais podem ser vistos como um resultado da ação antrópica sobre os solos, e pode ser caracterizada de uma forma bastante complexa, em áreas rurais e também em áreas urbanas, e ocorrem de forma mais intensa onde a degradação das terras ocorre.

Desse modo, o objetivo geral da pesquisa foi analisar as contribuições metodológicas apresentadas por propostas de mapeamento do relevo em nível de detalhe na bacia hidrográfica do Boi – PE, que enfatizam processos morfodinâmicos de gênese erosiva, em áreas de intensa degradação ambiental situadas no município

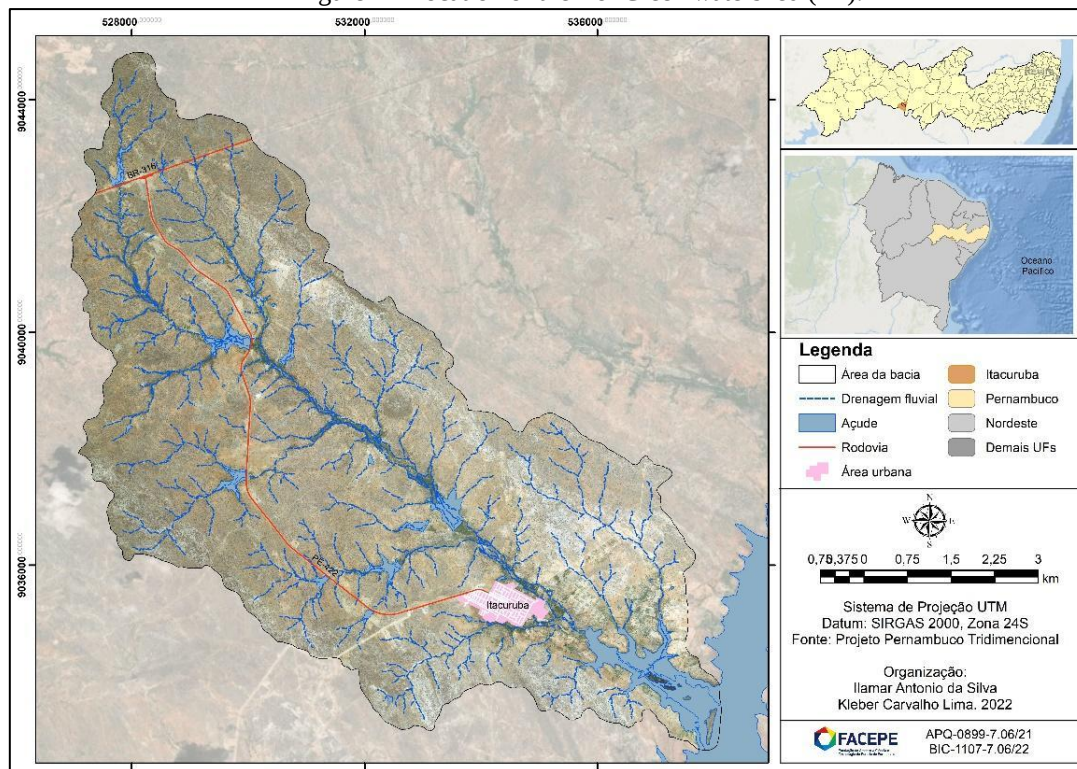
de Itacuruba, semiárido de Pernambuco.

Pretendeu-se analisar os produtos derivados de sensores remotos utilizados como base para os mapeamentos, em função da escala de análise adotada, avaliar os procedimentos técnicos e operacionais de elaboração dos produtos cartográficos correspondentes a cada metodologia, bem como verificar as possibilidades e restrições das propostas a serem utilizadas em setores morfodinâmicos de maior intensidade erosiva.

2. Material e Métodos

A bacia hidrográfica do riacho do Boi é um subsistema inserido na parte inferior da bacia do rio Pajeú, localiza-se na microrregião de Itaparica no sertão pernambucano. A área da bacia é de 66,24 km² e encontra-se inserida no Núcleo de Desertificação de Cabrobó (Figura 1) (BRASIL, 1998b). A área em estudo abrange parte no município de Itacuruba, que se encontra a 471,8 km a noroeste da cidade de Recife na Mesorregião São Francisco Pernambucano e Microrregião Sertão de Itaparica.

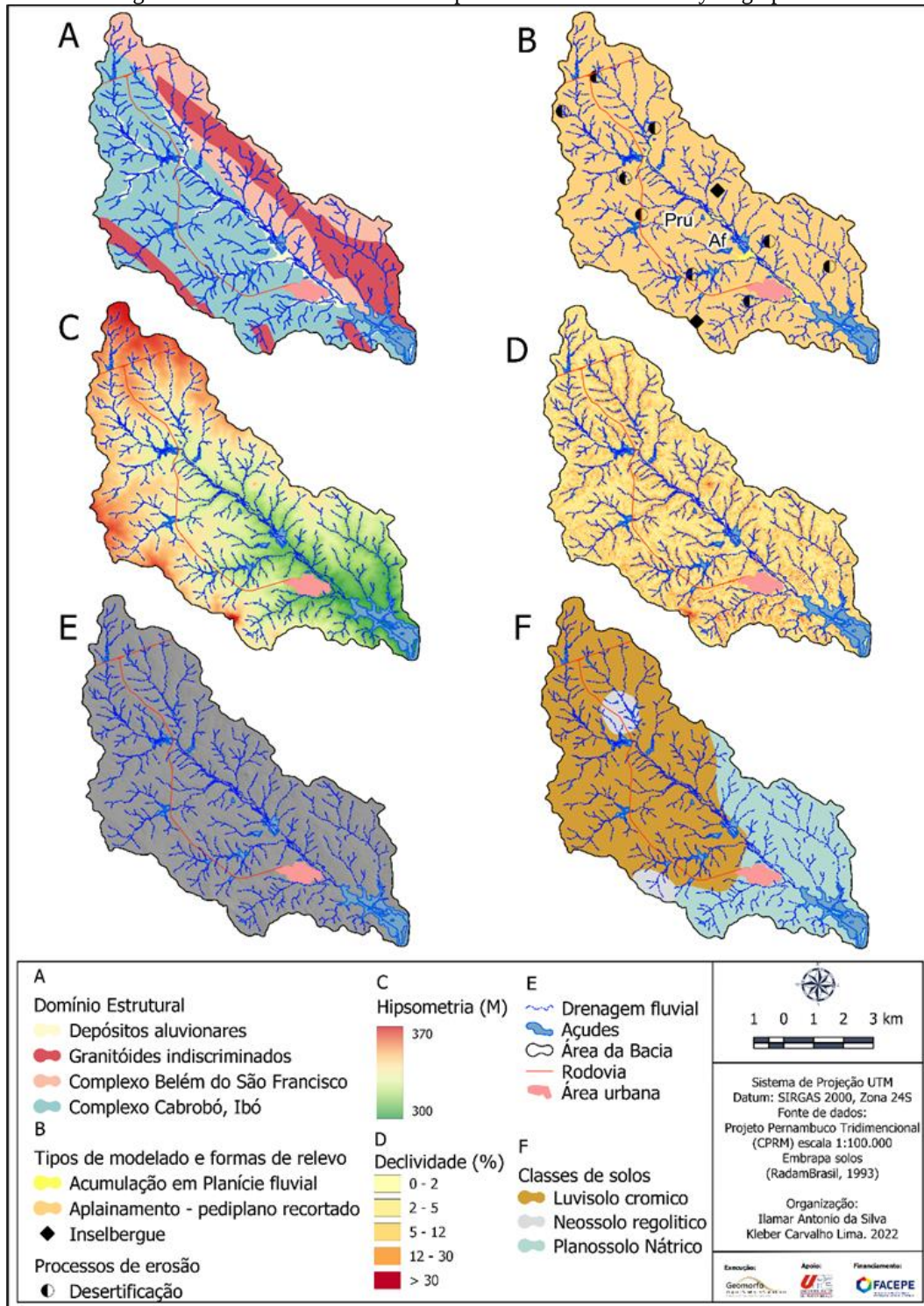
Figura 1 –Localização da bacia hidrográfica do riacho do Boi (PE).
Figure 1 - Location of the Boi Creek watershed (PE).



Fonte: Autores (2023).
Source: Authors (2023).

A bacia hidrográfica está inserida na folha editada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército Floresta (SC-24-X-A-IV). A bacia hidrográfica riacho do Boi está inserida, geologicamente, na Província Borborema (BELTRÃO et al, 2005), ao sul do lineamento de Pernambuco. Segundo Gomes e Santos (2001). A área inclui litótipos do Complexo Belém do São Francisco, Depósitos Aluviais, granitoides indiscriminados e Complexo Cabrobó, Ibô (CPRM, 2005) (Figura 2 - A).

Figura 2 – Coleção de mapas temáticos da Bacia Hidrográfica Riacho do Boi.
 Figure 2 - Collection of thematic maps of the Riacho do Boi Hydrographic Basin.



Fonte: Autores (2023).
 Source: Authors (2023).

Em relação ao clima se apresenta o tipo Tropical Semiárido, com chuvas que se iniciam de novembro e acaba em abril (CPRM, 2005). A precipitação média anual é de 431,8mm. A classificação climática da região segundo Koppen (1948) é do tipo clima BSh – Semiárido quente, e as temperaturas se encontram entre os 28°C e no verão ultrapassam os 30°C aumentando as taxas de evapotranspiração.

A bacia hidrográfica está nos domínios da macrobacia hidrográfica do rio São Francisco, da Bacia hidrográfica do rio Pajeú e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. O padrão da drenagem é o dendrítico e os cursos d'água têm regime intermitente, típico de regiões secas (Beltrão et al., 2005).

Predominantemente ocorrem dois três tipos de relevo, o primeiro são as planícies fluviais, distribuída à margem do riacho Boi, compostas por depósitos de sedimentos transportados por rios (Ross; Santos, 1982). O segundo são regiões aplainadas, recorrentes em áreas com clima semiárido, onde apresentam pedimentos extensos com grande ocorrência de afloramentos rochosos (Winge, 2001), além de inselbergues (Figura 2 - B).

O relevo da bacia hidrográfica do Riacho do Boi apresenta altitude relativamente homogênea, com maiores altitudes nos inselbergues atingindo os 388 m. No setor a montante da bacia hidrográfica, encontram-se altitudes que chegam aos 375 m, que decrescem suavemente a jusante, até cerca de 300 m, no Lago de Itaparica (Figura 2 – C).

A área apresenta baixa declividade nas vertentes, com as maiores declividades ligadas aos inselbergues (Figura 2 – D). A declividade é ligeiramente acentuada nos vales onde predominam a classe de 5 a 12%, considerada como suavemente ondulado. Nos inselbergues as classes variam entre 12 e 30%, onde é considerado o valor máximo para o desenvolvimento da mecanização agrícola, e as demais áreas da bacia a declividade varia de 2 a 5%, consideradas como áreas planas.

Quanto aos solos, predomina a classe dos Luvisolos Crômicos (Figura 2 – F), de cores fortes, vermelhas ou amarelas. “São solos rasos, ou seja, raramente ultrapassam 1 m de profundidade e apresentam usualmente mudança textural abrupta, com tendência muito forte à erosão e presença de pedregosidade.” (Silva; Silva; Cavalcanti, 2005).

Os Neossolos Regolítico (Figura 2 – F) são pouco desenvolvidos, não hidromórficos e de textura normalmente arenosa, apresentando alta erodibilidade principalmente em declives mais acentuados (EMBRAPA, 1999). Segundo Santos et al. (2012, p. 684), “São solos com sequência de horizontes A-C-R e textura geralmente variável de arenosa a média, que apresentam por definição teores de minerais primários alteráveis superiores a 4 % nas frações areia e cascalho nos primeiros 150 cm”. De acordo com Araújo Filho et al. (2000), os principais impedimentos na sua utilização relacionam-se com a baixa fertilidade natural, a baixa capacidade de retenção de água e o déficit hídrico.

Os Planossolos Nátricos (Figura 2 – F), “ Possuem alta saturação por sódio, estrutura prismática ou colunar. O gradiente textural elevado causa grande suscetibilidade à erosão, também favorecida pela baixa permeabilidade do horizonte B, devido à alta concentração de sódio” (EMBRAPA, 1999). Geralmente apresentam drenagem imperfeita e estrutura variada, destacando-se a presença de estrutura em blocos e/ou prismas no horizonte B. Têm argila de alta atividade, pH próximo da neutralidade e podem apresentar elevada saturação por sódio (Araújo Filho et al., 2000).

Na área de estudo a vegetação de caatinga é classificada como Savana Estépica Parque. De acordo com o IBGE (2012), caracteriza-se por apresentar arbustos e pequenas árvores, geralmente da mesma espécie com distribuição espaçada, entremeada com espécies herbáceas e gramíneas (Figura 3). São espécies que se caracterizam pela xerofilia (Caatinga hiperxerófila), sendo o clima como principal fator de sua adaptação. Contudo, a vegetação na bacia hidrográfica encontra-se degradada, com áreas raleadas, isto é, áreas abertas desprovidas de vegetação, como solo exposto. Como consequência, ocorrem áreas afetadas por processos erosivos intensos, como apontou Rocha Filho (2016) (Figura 3).

Figura 3 – Vista aérea da bacia do riacho do Boi (PE), onde visualiza-se a superfície de aplainamento com Caatinga Parque espaçada e áreas com solo exposto, degradadas por processos erosivos.

Figure 3 - Aerial view of the Boi Creek basin (PE), where the flattening surface can be seen with Caatinga Parque spaced out and areas with exposed soil, degraded by erosive processes.



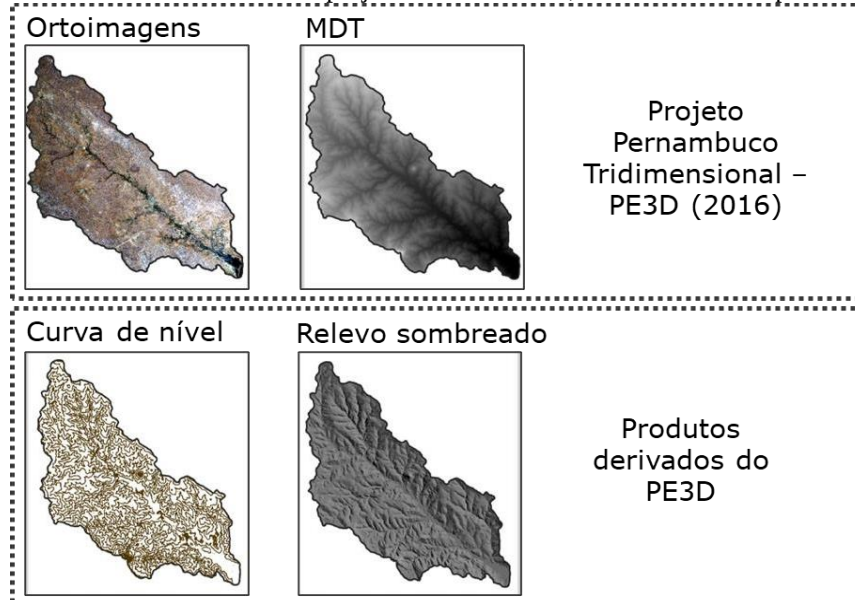
Fonte: Autores (2022).

Source: Authors (2022).

Para a confecção da Carta de Morfoconservação dos Terrenos, foram utilizadas ortoimagens e modelos digitais do terreno do PE3D (Figura 4), além de produtos derivados, como relevo sombreado e aspecto do relevo, para a extração das formas de erosão em escala 1:5000, a partir do método de interpretação visual por composição de informações (Zhang E Liu, 2019) e do método de extração automática (Souza E Almeida, 2014).

Figura 4 – Produtos do projeto do PE3D e derivados, utilizados no desenvolvimento dos mapeamentos.

Figure 4 - Products from the PE3D project and derivatives, used in the development of mappings.



Fonte: Autores (2023).

Source: Authors (2023).

A Carta de Morfoconservação dos Terrenos é considerada um produto cartográfico de síntese que permite a compreensão dos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) a partir da sua distribuição espacial e correlação com elementos da paisagem que permitem ou dificultam o desenvolvimento do fenômeno. Proposta inicialmente por Stefanuto (2019), foram realizadas adaptações de acordo com proposições apresentadas por Lima et al. (2023) para o contexto semiárido, de modo a contemplar os elementos mais significativos ao contexto da área analisada. Os elementos identificados na área de estudo foram agrupados por classes temáticas, visualizadas na Tabela 1.

A carta de densidade de feições erosivas lineares foi proposta por Andrade (2021), e tem como principal objetivo identificar os locais onde as formas mais extensas se concentram e apresentam maior intensidade, para que assim possa ocorrer uma avaliação das características do terreno que podem ser suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos, apontando assim as áreas mais críticas.

A elaboração da carta se estabeleceu em duas etapas. A primeira etapa que correspondeu a identificação e mapeamento das feições erosivas presentes na área de estudo, que também serviu de base para a elaboração da Carta de Morfoconservação dos Terrenos, e a segunda etapa está ligada aos diferentes métodos de interpolação das erosões lineares (Figura 5), cujos procedimentos foram realizados no ArcGIS 10.6.

Tabela 1 –Classes e respectivos elementos representados na Carta de Morfoconservação dos Terrenos.

Table 1 – Classes and respective elements represented on the linear erosion chart.

Terreno e hidrografia	Curva de nível Drenagem fluvial Lagoa sazonal Área da bacia
Uso e cobertura da terra	Rodovia Estrada não pavimentada Área urbana Assentamento rural Área agrícola Solo exposto
	Tipos de vegetação
	Vegetação ciliar Vegetação rarefeita Vegetação densa
	Açude
	Área com água Área seca
Feições erosivas	Erosão linear

Fonte: Autores (2023).

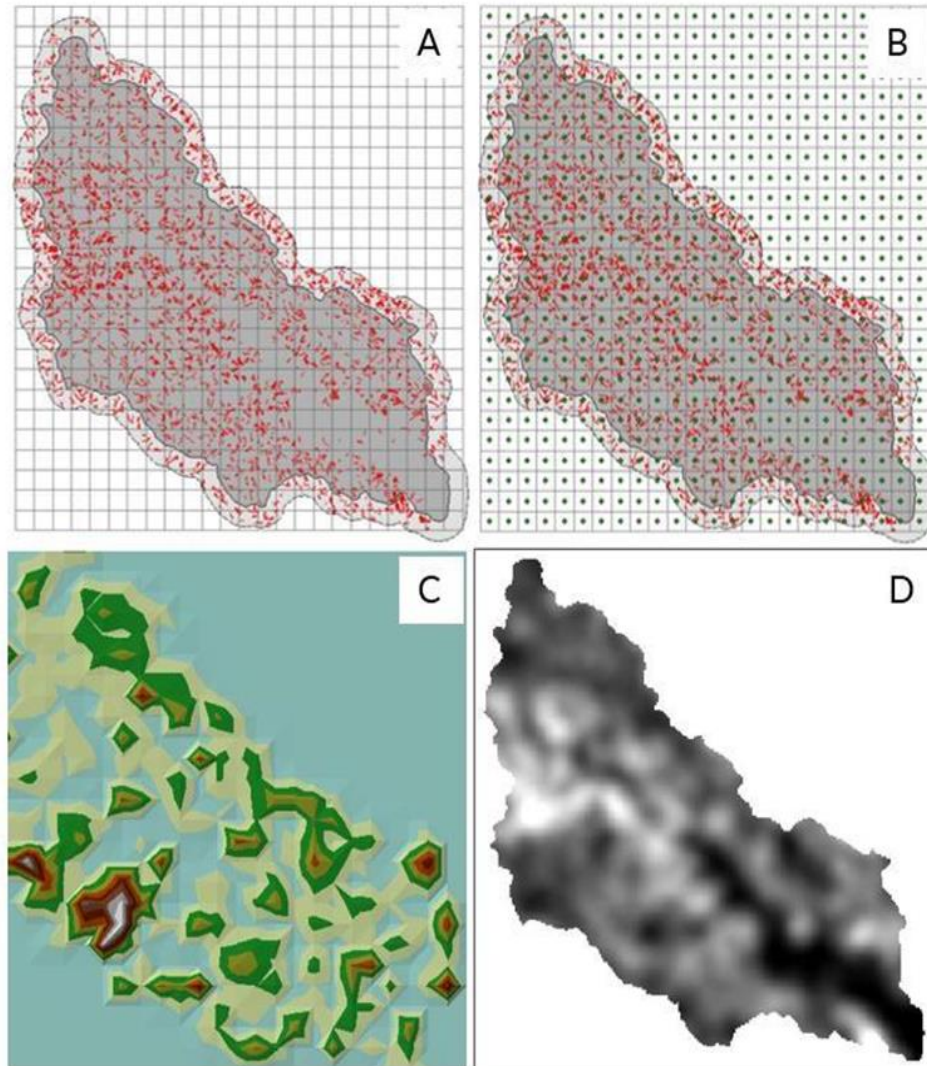
Source: Authors (2023).

Inicialmente, foi criado um buffer de 500 metros a partir da área de bacia e, em seguida, foi realizado o mapeamento das feições lineares. A partir disso, foi feita a construção de uma malha quadriculada sobre a área com a ferramenta Create Fishnet. Para melhor representação da realidade, foram realizados diversos testes, adotando a dimensão de 500 metros para as quadrículas.

Foi realizado o processo de quebra das feições por quadrícula, onde foi executada através da ferramenta Intersect. Na etapa seguinte, os shapefiles referentes a cada feição erosiva foram separados pelos limites das quadrículas da malha, assim a quantificação das dimensões de cada feição que corresponde a uma determinada quadrícula foram separadas. Na tabela de atributo do shapefiles foi criado uma nova coluna, onde por meio da opção calculate geometry, foi realizado o cálculo do comprimento (em metros) referentes às feições erosivas da área de estudo.

Figura 5 – Etapas de desenvolvimento da carta de densidade de erosão linear: criação da malha regular sobre a área da bacia (A); criação de centroides por quadrícula (B); malha triangular – TIN (C); transformação dos dados em raster (D).

Figure 5 - Stages of development of the linear erosion density map: creation of a regular mesh over the basin area (A); creation of centroids per grid (B); triangular mesh – TIN (C); transformation of data into raster (D).



Fonte: Autores (2023).
Source: Authors (2023).

Por meio da ferramenta Join and Relates: join os dados dimensionais de cada feição erosiva foram associados às quadrículas. Em seguida foi realizado a soma dos comprimentos das feições no interior de cada quadrícula, assim sendo dividido por 250.000 m², número referente ao tamanho de cada quadrícula, dessa forma foram obtidos os dados referentes a densidade de feições erosivas em cada quadrícula da malha regular.

A partir dos dados obtidos, foi feita a Triangular Irregular Network (TIN) com a finalidade de notabilizar se os dados referentes à densidade de feições erosivas. Utilizando a ferramenta Create TIN, onde no campo

Input Feature Class foi selecionado o shapefile referente ao ponto central da quadricula, e no campo Height Field selecionou-se a coluna referente à densidade de feições erosivas.

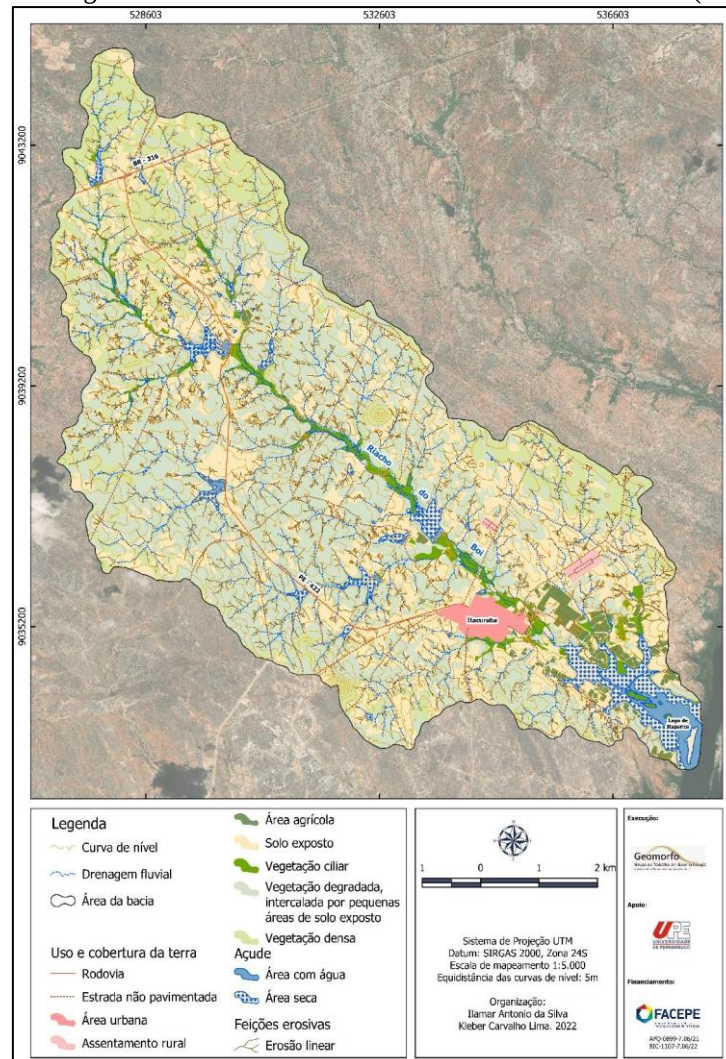
Após a criação do TIN, é feita a última etapa, onde o arquivo (TIN) é transformado para o formato raster por meio da ferramenta TIN to Raster. No campo Method foi escolhida a opção Natural Neighbors, buscando uma interpolação mais precisa. Para a elaboração do mapa final, os níveis de densidade de feições erosivas foram divididos em cinco classes em intervalos exponenciais.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise dos processos erosivos

Através da Carta de Morfoconservação dos Terrenos (Figura 6), foi possível observar a grande quantidade de erosões presentes em toda área de estudo, em especial nos setores com solo exposto e nas áreas de entorno de alguns açudes.

Figura 6 – Carta de Morfoconservação dos Terrenos da bacia hidrográfica do riacho do Boi (PE).
Figure 6 - Linear erosion chart of the Boi Creek watershed (PE).



Fonte: Autores (2023).
Source: Authors (2023).

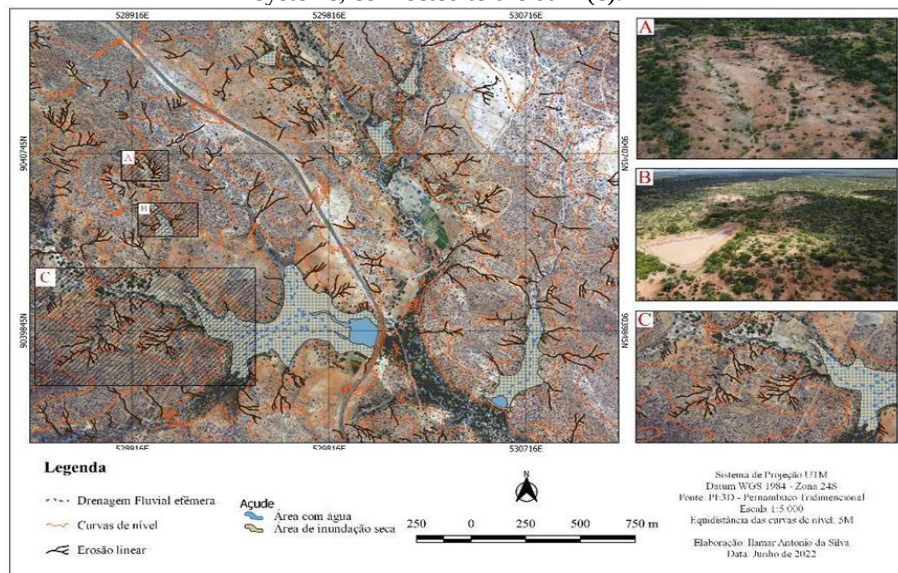
Além disso, foi possível observar uma quantidade menor de formas erosivas nas áreas em que ocorrem algum tipo de vegetação. Ao todo, foram mapeadas na bacia do riacho do Boi, 6.056 feições erosivas lineares, com comprimento variando entre 2,91 m e 501,5 m. Foram representados 36 açudes no ano de 2016, além do lago de Itaparica. Como resultado, a área de inundação dos açudes, que estava seca, e a quantidade de água presente no momento da imagem foram mapeadas. As áreas inundadas totalizaram 1.900.921,3m², enquanto a área ocupada pela água foi de 651.340,1m². Nas áreas secas, foram observadas características do leito fluvial, indicando períodos submersos. Todos os açudes mapeados exibiram feições erosivas lineares ao redor, muitas conectadas diretamente às áreas inundadas (Figura 7).

As erosões lineares geralmente apresentavam bifurcações, formando um sistema erosivo em rede bem desenvolvido, com feições extensas variando de 2,9 a 501,5 metros de comprimento. Um total de 267 dessas feições se conectaram diretamente a algum açude na bacia hidrográfica, com uma extensão total de 312.443,9m. Em muitos açudes, foi observada a associação entre erosões e áreas extensas de solo exposto ao redor. Esses dados sugerem que as feições lineares estão ligadas a fatores como características naturais do solo, exposição do solo pela remoção da vegetação, chuvas torrenciais em certos meses, fragilidade do solo diante da desertificação e oscilações na lâmina de água dos açudes devido à irregularidade hidrológica.

Em áreas próximas aos reservatórios, os processos erosivos podem ser comuns devido à alteração do nível original da drenagem, desencadeando erosão a montante. No semiárido brasileiro, as estiagens causam uma redução significativa ou total do nível da água nos açudes, o que pode persistir por longos períodos. Assim, acredita-se que os açudes na bacia do riacho do Boi tenham modificado o nível local de base, desencadeando processos erosivos tanto nas áreas imediatamente próximas quanto a montante. Em alguns casos, foram observadas características de migração das incisões devido aos ajustes no nível local da água.

Figura 7 – Setor representativo da BH do riacho do Boi com ocorrência erosão linear no entorno de açudes: feições erosivas a montante de um pequeno açude (a); pequeno açude seco em 2016 e com água em 2022 (b) e; sistemas erosivos em rede, conectadas a açude (c).

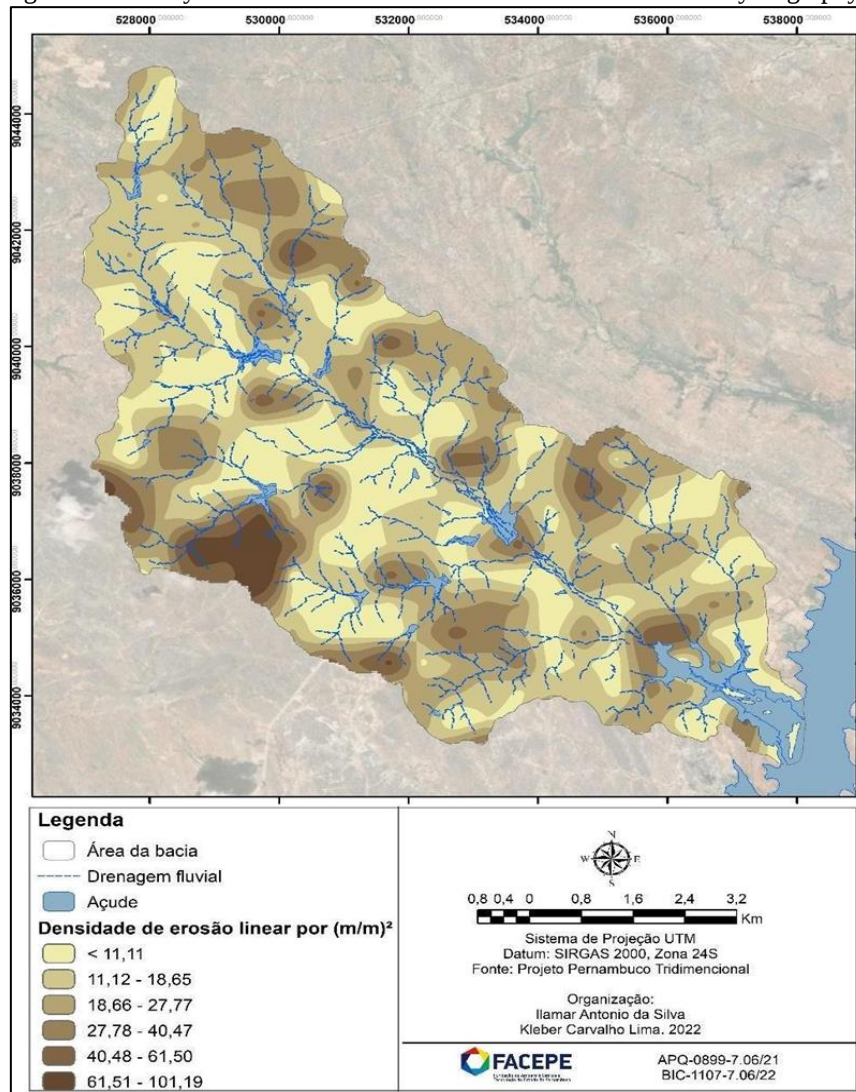
Figure 7 - Representative sector of the BH of the Boi creek with linear erosion occurring around dams: erosion features upstream of a small dam (a); small reservoir dry in 2016 and with water in 2022 (b) and; networked erosion systems, connected to the dam (c).



Fonte: Autores (2023).
Source: Authors (2023).

A partir do mapeamento de densidades de feições erosivas lineares (Figura 8), foi possível compreender a distribuição espacial das erosões, além de se identificar os setores mais afetados pela erosão linear (Figura 7). Notou-se que a classe (I), que está representada com o valor <11 , se distribuiu por toda área de estudo de forma não homogênea, porém, concentrou-se na parte central da bacia hidrográfica.

Figura 8 – Carta de densidade de feições erosivas lineares da Bacia Hidrografia do riacho do Boi.
Figure 8 - Density chart of linear erosion features of the Boi Creek Hydrography Basin.



Fonte: Autores (2023).

Source: Authors (2023).

A classe com valor entre 11 e 18, está distribuída com sua maior presença na parte superior da bacia, enquanto o seu restante apresenta uma mesma distribuição bastante espaçada. Entre a classe 18 e 27, ela se distribui ao centro da área de estudo e também na parte sul de forma igual, e com pequenas presenças na parte ao norte da Bacia Hidrográfica. A classe que corresponde a 27 e 40, se apresenta de forma bem discreta, e com pontos bastante centrais. Entre a classe que vai de 40 até 61, se apresenta de forma bastante pontual, se tornando

uma das menores classes. Com respectiva a última classe, que vai de 61 até 101, ela se localiza especialmente a Oeste da Bacia Hidrográfica, onde estão localizadas as erosões com maior extensão.

3.2 Avaliação dos procedimentos técnicos e das possibilidades e restrições das cartas

Para a confecção da carta de Morfoconservação dos terrenos, foi necessária a representação de diversos temas mapeados, já que o produto cartográfico priorizou os elementos diretamente relacionadas com a ocorrência e concentração de erosões lineares na área de estudo. Assim, considera-se que a carta permitiu a leitura e interpretação integrada dos diversos elementos associados a erosão, válida como instrumento técnico integrador.

Entretanto, os procedimentos técnicos de execução foram considerados de alta complexidade, já que se trata de um produto de alta resolução, que requer rotinas de extração das informações que demandam conhecimento técnico do software de SIG e conhecimento sobre a temática e a área de estudo por parte do pesquisador. Destaca-se a necessidade da padronização cartográfica dos elementos mapeados em função da escala adotada. Além disso, a leitura e interpretação da carta pode ser dificultada em função da quantidade de temas representados.

A carta apresentou papel importante ao indicar os setores que podem ser estabelecidos como prioritários para ações de recuperação ambiental devido à maior concentração de erosão linear. Além disso, demonstrou setores cujas erosões estão diretamente associadas a variáveis secundárias aos solos, como as áreas com solo exposto, vegetação espaçada e vegetação degradada, estradas não pavimentadas, rodovias pavimentadas e também ao grande número de açudes (Silva et al., 2022).

A carta de densidade de feições erosivas lineares apresentou procedimentos técnicos de execução de média complexidade, já que necessitou da realização de diversas etapas anteriores à finalização da carta, com destaque para o ajuste da malha regular, em função da dimensão da área, com diversos testes para análise dos dados e melhor interpretação dos dados. A Carta de Morfoconservação dos Terrenos contribuiu para a análise sistêmica da erosão com as principais atividades antrópicas, pois destacou os principais elementos associados às erosões, além de abranger elementos que facilitam o entendimento dos aspectos do terreno, como por exemplo, as curvas de nível. A carta também permitiu a sobreposição de dados, como por exemplo, o uso e cobertura, que está diretamente ligado ao papel do efeito splash, como apontou Guerra (2014).

A representação da densidade de feições erosivas lineares, por sua vez, demonstrou os setores onde a densidade de erosão linear em m/m^2 ocorreu com maior frequência, e também os setores que sofriam menores interferências das erosões. A partir da carta foi possível realizar o cruzamento das classes de densidade com os dados litológicos e os pedológicos, indicando setores prioritários para ações de controle e prevenção de erosões, e que podem também ser realizadas iniciativas de recuperação e controle das erosões lineares.

4. Conclusão

Os estudos geomorfológicos em escala de detalhe que enfatizam processos morfodinâmicos de erosão dos terrenos no semiárido ainda são escassos, frente a problemática da degradação por processos dessa natureza, sendo necessária a aplicação de diferentes metodologias e em diversos contextos da região. Diante disso, se faz necessária a utilização de técnicas de mapeamento que possam gerar produtos cartográficos a serem utilizadas como instrumentos técnicos que possibilitem subsidiar ações de planejamento e gestão.

Considera-se também que a carta de morfoconservação dos terrenos e a carta de densidade de feições erosivas lineares, são essenciais para a compreensão dos recursos naturais como um todo, em interface com o relevo, impactando positivamente as ações de gestores públicos e privados, voltadas ao planejamento local, de forma a retardar ações de degradação dos solos por ações antrópicas.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica (BIC, processo nº 0221-1.07/21).

6. Referências

Andrade, R. V. D. (2022). **Processos erosivos no relevo de cuestas: a influência antrópica e a legislação ambiental no município de Botucatu (SP)**.

Araújo Filho, J. C. et al.(2000) Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos – UEP Recife; Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11) p 318-525, (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11)

Barbosa Neto, M. V., de Araújo, M. D. S. B., de Araújo Filho, J. C., Sampaio, E. V. D. S. B., & de Almeida, B. G. (2020). “Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region”. **Modeling Earth Systems and Environment**, 6, p. 1-9.

Beltrão, B. A. (2005) **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: diagnóstico do município de Itacuruba, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (2012) **Conservação do Solo . 8. ed. São Paulo: Ícone**.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. 2. ed. Brasília: **Plano Nacional de Combate à Desertificação**, 1998a. 95 p

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Mapa da ocorrência da desertificação e áreas de atenção especial. Brasília: **Plano Nacional de Combate à Desertificação**, 1998b.

CPRM. Projeto Cadastro das fontes de Abastecimento por água Subterrânea – **Diagnóstico do Município de Itacuruba-PE- Recife**, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999.

Giongo, V. (2011) Carbono do sistema solo-planta no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1.233-1.253.

Guerra, A. J. T.; Marçal, M. S. (2006) **Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertand Brasil**.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (orgs.). **Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 5ª edição, 2010, p. 15-55.

Goudie, A. S. (2013) **The Human Impact on the Natural Enviornment: Past, Present and future**. 7. ed. Oxford: John Wiley & Sons, 410 p.

Gomes, H. A.; Santos, E. J. (2001). **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 214 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE. 2012. 272 p.

Lima, K.C.; Lupinacci, C.M.; Gomes, D.D.M.; Souza, S.O.; Alexandre, F.S. (2023) Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n.1, p.1-15.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

Rocha F. (2016) Gilson Brandão da et al. **Estudo do potencial agrícola e não agrícola do município de Itacuruba, Pernambuco, Brasil**.

Ross, J. L. S. (2006) O Registro Cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, FFLCH-USP, n. 6, p. 17-19.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. Geomorfologia. In: BRASIL. **Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 21 – Cuiabá: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. p. 193 - 256.

Santos, C. A. G., Silva, R. M. S, V. (2007) Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. OKARA: **Geografia em debate**, v.1, n.1, p. 16-32.

Santos, J. C. B. et al. (2012) Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 684,

Silva, F. H. B. B.; Silva, M. S. L.; Cavalcanti, A. C. (2015) **Descrição das principais classes de solos**. Recife: Embrapa - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento. 15 p.

Silva, I. A. et al. (2022) **Feições erosivas no entorno de pequenos açudes do município de itacuruba-pe**.

Souza, J. O. P.; Almeida, J. D. M. (2014) Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 134-149.

Winge, M.; Crósta, A.; Neves, B.; Alvarenga, C.; Schobbenhaus, C.; Carneiro, C. (2001) **Glossário geológico ilustrado**. Publicado na Internet.

Zhang, W.; LIU, Y. (2019) Research on visual interpretation and spatial distribution pattern of the erosion gully in Luoyugou Watershed of China. **Environment and Natural Resources Research**, v. 9, n. 3, p. 23-31.