

SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DO BAIXO CURSO DO RIO ACARAÚ-CE

Simone Ferreira DINIZ, César Augusto MOREIRA,
Fabrício Aníbal CORRADINI

Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.
Endereços eletrônicos: dinfersim@hotmail.com ; cesargeologia@yahoo.com.br ; fcorradini@pop.com.br

Introdução
Localização da Área de Estudo
Caracterização da Área
Clima
Geologia
Geomorfologia
Pedologia
Vegetação
Materiais e Métodos
Resultados
Mapa de Susceptibilidade
Discussão dos Resultados
Conclusão
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O uso inadequado do solo no baixo curso do rio Acaraú está acelerando processos de erosão em vários graus. Este processo é acentuado nas áreas onde a caatinga foi removida para implantação de pastagens e agricultura. Concomitantemente, a planície de inundação do rio Acaraú é assoreada com o transporte de sedimentos, resultando no assoreamento da planície fluvial e redução da espessura da lâmina d’água, com aumento da evapotranspiração e conseqüente salinização, proveniente do substrato local. Este trabalho visou o cruzamento de diversas informações espaciais (geomorfologia, solo, geologia, uso do solo, elevação e declividade) em ambiente SIG, para determinação das áreas susceptíveis à erosão e assoreamento no baixo curso do rio Acaraú, norte do Estado do Ceará, Brasil. Os resultados permitiram avaliar a aplicação desta ferramenta no planejamento e gestão do meio físico, a partir do cruzamento do tipo de uso com o ambiente utilizado e o conseqüente impacto ao ecossistema.

Palavras-chave: susceptibilidade erosiva, assoreamento, SIG, baixo curso do rio Acaraú, Estado do Ceará.

ABSTRACT – *S.F. Diniz, C.A. Moreira, F.A. Corradini - Erosive susceptible in low course of Acaraú river – CE.* The inadequate land use in the low course of the river Acaraú is speeding up processes of erosion in some degrees. This process is accentuated in the areas where caatinga was removed for implantation of pastures and agriculture. Concomitantly, the plain of flooding of the river Acaraú an accumulation of sand with the carry of these sediments, resulting in the widening of the fluvial plain and reduction of the shape water, with increase of the evapotranspiration and consequence salinization, proceeding from the local substratum. This paper aimed at the crossing of diverse space information (geomorfology, soil, declivity, geology and land use) in environment SIG, for determination of the susceptible areas to the erosion and an accumulation of sand in the low course of the Acaraú river, north of the State of the Ceará, Brazil. The results allow to evaluate the application of this tool in the planning and management of the environment, from the crossing of the type of use with the used environment and the consequent impact to the ecosystem.

Keywords: erosive susceptible, sedimentation, GIS, lower course Acaraú River, Ceará State.

INTRODUÇÃO

O uso inadequado de técnicas de manejo da terra tem resultado em perdas crescentes de produtividade e, em casos extremos, desertificação de vastas áreas em diversas partes do planeta. Durante décadas, a aplicação de técnicas e projetos de cultivo trazidas de outras regiões de clima semelhante, a princípio aplicáveis na área alvo, pode resultar em conseqüências danosas para o ambiente e economicamente desastrosas.

A devastação de paisagens naturais, muitas das quais endêmicas ao ambiente, produzem perdas irreversíveis ao ecossistema, as comunidades extrativistas associadas, turismo ecológico e demais atividades econômicas sustentáveis.

A ausência de planejamento e gestão do meio físico por parte das autoridades competentes, administradores municipais, estaduais e federais, aliado a completa falta

de fiscalização das atividades privadas, principalmente em área de alta sensibilidade ambiental, como vegetação ciliares, provoca a degradação das margens dos cursos d'água, assoreamento, constante redução na vazão dos rios, impacto nos aquíferos adjacentes e indisponibilidade hídrica a longo prazo.

Frente à problemática levantada, a aplicação de técnicas e ferramentas para estudo, avaliação e planejamento do meio físico são cada vez mais requisitada. Inúmeros estudos atestam técnicas de geotecnologias e sensoriamento remoto em ambiente SIG aplicados em diversas áreas do conhecimento, como na degradação do solo (Cavaliere et al., 1996), na estimativa de perda de solo por erosão (Ribeiro & Alves, 2007), no cálculo de erosividade da chuva para o Estado do São Paulo (Moreira et al., 2006), na avaliação do potencial natural de erosão no município de Sorocaba (Silva, 2008) e no município de Brotas (Bueno & Stein, 2004). Sistemas de Informação Geográfica (SIG) consiste em forma indireta de estudo da superfície, a partir de imagens de satélite ou fotografias aéreas, que permitem a avaliação de extensas áreas a um custo relativamente baixo.

Esta ferramenta possui grande aplicabilidade em estudos de planejamento e gestão ambiental, como uso e ocupação em áreas urbanas, monitoramento de queimadas, desmatamento em áreas florestais, análises de processos de modificação do meio físico, como erosão, deslizamentos, desmoronamentos e sedimentação.

A área de estudo abordada neste trabalho, o baixo curso do rio Acaraú (CE), apresenta um processo acelerado de perda de solos em vários graus de erosão,

por ações antrópicas danosas em um ambiente naturalmente propenso a ocorrência de processos erosivos. Este processo é acentuado principalmente nas áreas onde a vegetação natural, constituída pela caatinga e vegetação ciliar, é removida para implantação de pastagem e fruticultura irrigada.

O assoreamento do vale do rio e o conseqüente transporte de sedimentos para a zona costeira resultam em impactos tanto na fauna aquática fluvial quanto na fauna de mangue, localizada na área de foz.

As conseqüências econômicas diretas deste conjunto de impactos são a escassez na quantidade de peixes no rio Acaraú, extinção dos sítios de reprodução na área de mangue e a conseqüente redução na quantidade de espécies comerciais, redução da produção de camarão cultivado (carcinicultura) pelo aumento da turbidez e conseqüente processo de eutrofização da água. Nas áreas adjacentes ao rio, ocorrem perdas de áreas de pastagem e de cultivo, redução da produtividade por empobrecimento do solo, rebaixamento do nível freático, podendo gerar processos de desertificação (Lima et al., 2000).

Este trabalho visa o cruzamento de diversas informações espaciais em geomorfologia, solo, declividade, elevação, geologia e uso da terra, na determinação das áreas suscetíveis à erosão e assoreamento no baixo curso do rio Acaraú, norte do Estado do Ceará, por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os resultados permitem avaliar a aplicação desta ferramenta no planejamento e gestão do meio físico, a partir do cruzamento do tipo de uso com o ambiente utilizado e o conseqüente impacto ao ecossistema.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Acaraú ocupa aproximadamente 14.000 km², cerca de 10% da área total do Estado do Ceará e é formada pelo rio do mesmo nome e seus afluentes. A nascente do rio Acaraú localiza-se na Serra das Matas, no município de Monsenhor Tabosa (Figura 1).

Destacam-se como principais afluentes os rios Groaíras e Jucurutu, pela margem direita; e o Jaibaras,

pela margem esquerda. Nesta bacia foram construídos inúmeros açudes destacando-se o Araras, o Edson Queiroz, o Ayres de Sousa, o Acaraú-Mirim e o Forquilha, os quais desempenham importante papel na irrigação e abastecimento (Zanella, 2005). A área de estudo perfaz um total de 50 km² e está localizada no baixo curso do rio.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

CLIMA

O clima semi-árido é o principal fator condicionante da dinâmica ambiental. As temperaturas elevadas, geralmente situando-se entre 25°C e 29°C, resultam índices de evapotranspiração superiores a 1.000 mm anuais. As chuvas ocorrem de forma bastante irregular ao longo do ano, com caráter torrencial no primeiro semestre.

A pluviosidade é ainda variável espacialmente, situando-se em geral entre os limites de 500 a 1.000 mm anuais nas áreas periféricas às zonas mais úmidas, e entre 500 a 700 mm nas áreas do sertão central, onde o período seco se estende por até nove meses (Souza, 1995). Disso resultam rios intermitentes com escoamento limitado praticamente no período chuvoso, com baixa capacidade de escoamento dos terrenos e

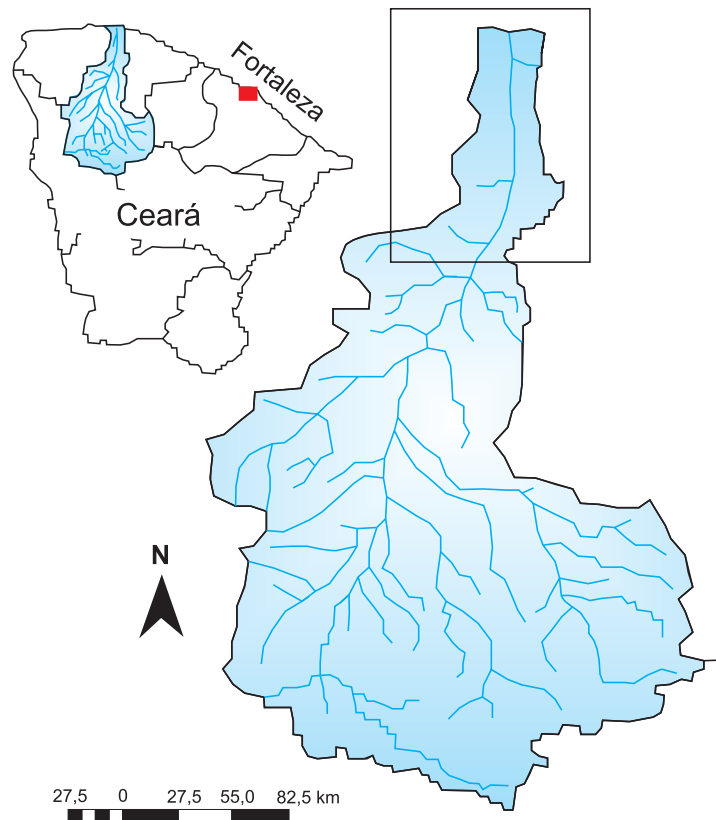


FIGURA 1. Mapa da bacia do rio Acaraú. Em detalhe a área do baixo curso.

a existência de extensas áreas representadas por pavimentos detríticos recobertos por material mais grosso.

As principais condicionantes locais da área em estudo são a Serra das Matas e a Serra da Meruoca que atuam como indutoras de chuvas e de brisas, que ameniza as altas temperaturas locais e fornece umidade (IPECE, 2002). O desmatamento indiscriminado e a crescente urbanização ao longo da bacia têm contribuído para o aumento da temperatura.

GEOLOGIA

Na área da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú ocorrem principalmente rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano inferior e médio (Serra das Matas – Município de Monsenhor Tabosa).

No embasamento predominam as seguintes litologias: gnaisses, xistos, filitos, anfíbolitos e ardósias; todas profundamente dobradas, metamorfizadas e com grande variedade de alinhamentos estruturais. As falhas regionais apresentam *trend* N-S, tendendo a NE-SW, dois importantes batólitos, localizam-se no graben de Jaibaras com idade Pré-Cambriano Superior, constituindo-se as serras de Meruoca – Rosário e do Carnutum. A leste de Sobral, encontram-se o *stock* que edifica a serra da Barriga.

Também ocorrem rochas do Fanerozóico, bordejando a porção leste da bacia, representadas pelo Grupo Serra Grande no período Siluriano-Devoriano. Afloram na porção norte da área rochas do grupo Barreiras, depositadas durante o Terciário-Quartenário. Além disso, ocorrem dunas, paleodunas, e aluviões quartenário na região costeira (Foz do rio Acaraú).

São explorados como recursos minerais na área: argila, na região de Hidrolândia; calcário nas regiões de Sobral e Coreaú; e rochas ornamentais com os granitóides Mucambo, Meruoca, serra da Barriga e Taperuaba nessas localidades.

A tectônica é movimentada por 4 blocos orogênicos divididos em: Itapajé, Acaraú, Coreaú e Santa Quitéria. No esboço geo-estrutural cada bloco parece possuir linhas estruturais divergentes (Neto, 1990).

As mais importantes feições estruturais da região são representadas pela sucessão de “Horts” e “Grabens,” cujo conjunto corresponde ao corpo orogênico de Acaraú e pela Plataforma Sobral.

Especificamente na área do baixo curso do rio Acaraú, predominam rochas sedimentares, reunidas no Grupo Barreira (Meireles, 1991). São compostos de sedimentos areno-argilosos e arenosos, às vezes com presença de conglomerados em proporções variadas.

Os sedimentos arenosos, argilosos e silticos, de cores variegadas deste Grupo apresentam forma alongada, com feições morfológicas representadas por superfícies de aplainamentos, cristas e interflúvios tabulares. De acordo com o resultado da matriz, apresenta um potencial hídrico fraco, devido ao fato de ser o Grupo Barreiras uma cobertura sedimentar de pequena espessura.

A faixa aluvionar foi subdividida em aluviões com influência marinha e aluviões sem influência marinha, de acordo com valores estatísticos de sondagens realizadas pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), para implantação do sistema de abastecimento de água a partir do potencial hídrico do aquífero aluvionar.

GEOMORFOLOGIA

As unidades geomorfológicas que compõem a bacia é, segundo o Projeto RadamBrasil (Stanford et al., 1981) é formada pela Planície que se compõem em planícies flúvio-marinhas e dunas elaboradas em areias quaternárias. Esta feição destaca-se na embocadura do rio Acaraú caracterizando-se por apresentar uma drenagem sinuosa de canais largos; dunas que formam cordões quase contínuos ao longo da costa, com notável paralelismo entre si, abrangendo uma faixa em tornos de 2,5 km de largura. Situam-se entre a superfície pediplanada ou as formas tabulares e a faixa de praia. Nestas áreas foram identificadas tanto dunas móveis como fixas.

A Depressão Sertaneja abrange ampla superfície pediplanada caracterizada por altitudes baixas a médias, com altos e baixos estruturais, em que predominam rochas do embasamento cristalino e solos pouco a moderadamente desenvolvidos assim como formações vegetacionais diversas, com predomínio das caatingas.

Os Planaltos Sedimentares compreendem a Serra da Ibiapaba, pelas cuestas areníticas e as encostas, dividindo os estados do Ceará do Piauí.

Os Maciços Residuais constituem os terrenos mais antigos da região e é representada predominantemente pelo Maciço Residual da serra da Meruoca, Jordão e Santana, além de morros testemunhos isolados.

O relevo é constituído por uma topografia plana à suavemente inclinada. Esta feição caracteriza a área parcialmente instável, está sujeita a inundações periódicas por ocasião do transbordamento dos leitos naturais dos rios da região.

O rio Acaraú é o principal responsável pelos processos fluviais de deposição e erosão atuantes na área. A jusante direita aflora um gnaiss esbranquiçado, de textura fina e parcialmente cataclásado, que se estende por baixo de depósitos predominantemente argilosos (Neto, 1990).

A morfologia dos terrenos sedimentares é tabular (tabuleiros costeiros e planície costeira), e configuram os aquíferos de sedimentos arenosos e aluviões.

Os sedimentos arenosos constituem o principal aquífero do vale do Acaraú pela sua capacidade de armazenamento. A recarga ocorre na ocasião das cheias e invariavelmente depende do volume de chuvas. Os aluviões são constituídos por sedimento argilosos de baixa permeabilidade e constituem um aquífero de pequena importância (IPECE, 2002).

PEDOLOGIA

O regolito, restrito às margens do rio Acaraú tem uma espessura que varia de 1 a 4 m. Os litotipos dominantes na área são rochas cristalinas (gnaisse, migmatitos) e rochas sedimentares (cascalho, arenitos, arenitos argilosos, siltitos e argilitos).

O solo predominante na área do vale é o Neossolo Flúvico, composto por sedimentos transportados e depositados pelos rios ao longo de suas margens. Resultam de sedimentos não consolidados e de granulometria variada - argila, silte e areia dispostos em camadas alternadas, além de acumulações de material orgânico (Vieira et al., 1996).

Nas áreas de encosta e tabuleiros predomina o Argissolo Vermelho Amarelo, produto de alteração nas rochas subjacentes. Este solo é rico em ferro e possui horizonte orgânico propício a retenção de nutrientes e com boa fertilidade, vastamente utilizados na agricultura e pastagens (Bertoni, 1990).

Os Neossolos e solos salinos ocorrem na região costeira. Tais Neossolos são resultantes de processos de deposição eólica, inconsolidados e facilmente transportáveis devido à quase ausência de vegetação de fixação. Os solos salinos estão restritos às áreas de manguezal, caracterizados pelo elevado teor de sódio e matéria orgânico (Jacomine et al., 1973).

VEGETAÇÃO

A Bacia do Rio Acaraú é uma das principais redes de drenagem do território cearense e compreende uma área de 4.517,5 km² (Stanford et al., 1981). A bacia está totalmente inserida no contexto do semi-árido nordestino, limitados pela Província Nordestina ou das Caatingas, correspondendo à Zona ou Domínio das Caatingas (Fernandes & Bezerra, 1990).

A cobertura vegetal predominante na bacia do Rio Acaraú, como também em todo o Ceará, é a caatinga, que segundo Fernandes (1990) é uma “vegetação predominantemente caducifólia, sobre um solo raso e quase sempre pedregoso, de extrema deficiência hídrica durante grande parte do ano”. O termo de origem indígena significa “mata aberta, clara”, o que contrasta com as matas fechadas e escuras.

Além das caatingas, outras formações vegetais são encontradas na bacia. Das onze unidades fitoecológicas descritas por Figueiredo (1997) para o Estado do Ceará, oito são ocorrentes na área da bacia e duas outras lhe são contíguas.

A vegetação predominante ao longo do vale é a Caatinga, seguido pela carnaúba e vegetação de mangue. Ocorrem cactáceas e outras espécies xerófitas, típicas das zonas áridas e semi-áridas.

Ecossistemas, como o do manguezal do Rio Acaraú, têm uma vegetação arbórea padronizada que conforme Fernandes (1990) pode ser classificada como Floresta Perenifólia Latifoliada Paludosa Marítima. A

flora dos manguezais encontrada no estuário do Rio Acaraú, assim como nos demais manguezais cearenses, é representada por um conjunto taxonômico de quatro famílias botânicas e cinco gêneros, das 13 famílias e cerca de 20 gêneros que constituem os mangues em todo o mundo. São comumente identificadas no mangue as seguintes famílias e espécies: Rizoforáceas (*Rhizophora mangle* – mangue vermelho), Verbenaceas (*Avicennia schaueriana* e *A. germinans* – mangue canoé ou preto ou siriúba), Combretaceas (*Laguncularia racemosa* – mangue branco ou rajadinho; *Conocarpus erectus* – mangue-de-botão ou ratinho) e Fabaceas (*Dalbergia hecastophyllum* – bugi).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi iniciado com revisão literária, mapas base (IPECE, 2002; CPRM, 2003; RADAM BRASIL, 1981), imagens de satélite, imagens de radar SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Nasa) e bancos de dados preexistentes.

Os mapas de geologia, geomorfologia e classes de solos foram rasterizados, digitalizados e processados em ambiente SIG. Um SIG, além de integrar informações de mapas, também agrega informações espaciais oriundas de imagens de satélites, dados cadastrais e modelos numéricos de terreno, comportando-se como uma ferramenta eficiente de planejamento em todas as aplicações que fazem uso de mapas (Silva, 2005).

Na imagem Landsat TM, órbita/ponto 218/62, maio de 2007, foi corrigida a interferência atmosférica com base na técnica de valor do pixel escuro. A classificação das categorias de uso da terra foi determinada por coletas de amostras de treinamento de cada classe adotada de Oka-Fiori et al. (1999). A acurácia do produto final foi conferida em campo com auxílio de aparelho de Sistema de Posicionamento Global.

Pelo *software* ENVI 4.2 aplicou-se ferramentas que eliminassem os ruídos nas imagens SRTM. Para realce das formas de relevo adotou-se como critério azimute 45° e sobrelevação por *shaded relief* na ordem três como melhor representação para os objetivos deste trabalho.

Foi necessário excluir a área no extremo norte das imagens de satélite e de radar, por obterem valores de pixels anômalos por interferirem nos mapas gerados.

Por meio de imagens SRTM gerou-se o modelo digital de terreno (MDT) e conseqüentemente o mapa de declividade, ambos divididos em três classes. Estes dois mapas são essenciais para definição das áreas suscetíveis à erosão.

Para cada mapa gerado (Tabela 1) atribuiu-se valores de influência de 0 a 100% e seus respectivos

pesos em uma escala de 1 a 6 para cada classe definida, de acordo com as características físicas, antrópicas e a relevância de cada feição para ocorrência do processo erosivo da área estudada (Tabela 2). A integração dos mapas foi realizada no ArcGis 9.2 e módulos afins.

TABELA 1. Classes e Atributos utilizados para geração dos mapas.

Classes	Atributos
Geomorfologia	Planície Flúvio Marinha
	Planície Litorânea
	Tabuleiros Costeiros
Solos	Planície Fluvial
	Salinos
	Neossolo
	Aluvião
	Argissolo
Uso da terra	Manguezal
	Lazer
	Carcinocultura
	Cultura de subsistência
	Fruticultura
	Pastagem
Geologia	Urbano
	Grupo Barreiras
	Sedimentos eólicos litorâneos
Declividade	Sedimentos aluviais
	Baixa
	Média
Elevação	Alta
	Baixa
	Média
	Alta

TABELA 2. Atributos do mapa de Susceptibilidade à Erosão.

Classes	Atributos	Influência	Pesos
Geomorfologia	Planície Flúvio- Marinha		1
	Planície Litorânea	15%	2
	Tabuleiros Costeiros		6
	Planície Fluvial		3
Solos	Salinos		1
	Neossolo	20%	4
	Aluvião		5
	Argissolo		6
Uso da terra	Manguezal		2
	Lazer		1
	Carcinocultura		5
	Cultura de subsistência	20%	3
	Fruticultura		4
	Pastagem		6
	Urbano		2
Geologia	Grupo Barreiras		6
	Sedimentos eólicos litorâneos	10%	3
	Sedimentos aluviais		4
Declividade	Baixa		1
	Média	30%	2
	Alta		2
Elevação	Baixa		1
	Média	5%	2
	Alta		2

RESULTADOS

Apesar de ser uma zona costeira relativamente plana, a área de estudo possui variações altimétricas na ordem de 125 m (Figura 2A) com declividades geradas por SRTM entre 0 a 9 graus (Figura 2B).

O mapa de uso da terra agrupa áreas com predomínio de determinadas formas de uso e ocupação da área estudada. São classificadas sete categorias de uso: carcinicultura, fruticultura, pastagem, manguezal, culturas de subsistência, lazer e vila (Figura 2C).

As terras passíveis de utilização com cultivo (anual e/ou perene), pastagem e fruticultura, representam as maiores formas de usos praticadas ao longo do baixo curso do rio Acaraú. O município possui áreas de ocupações impróprias para o uso habitacional incorporando áreas de mangue associadas às áreas de planície fluvial.

Outros problemas de uso da terra são referentes à grande quantidade de terras impróprias para cultivos, pastagem ou reflorestamento e que deveriam ser utilizadas como áreas de preservação ambiental ou de conservação hídrica ou, ainda, para fins turísticos.

O mapa geológico apresenta três unidades: a) arenitos e sedimentos Terciários reunidos no Grupo Barreiras; b) sedimentos Aluviais Quaternários, e c) sedimentos Eólicos Litorâneos Recentes (Figura 3A).

A compartimentação geomorfológica permite entender os processos exógenos atuantes e a dinâmica superficial do relevo. Foram divididos quatro unidades, sendo: Unidade Planície Litorânea, Unidade Planície Flúvio-Marinha, Unidade Planície Fluvial e Unidade Tabuleiros Costeiros (Figura 3B).

A Unidade Planície Fluvial é considerada a maior unidade mapeada, situada entre 3 a 38 m de altitude e declividade inferior a 2%, sendo caracterizada por relevo acidentado e moldado pela drenagem. A planície fluvial se desenvolve no sentido a jusante chegando a 5,0 km de largura nas proximidades do município de Acaraú. Seus limites são bem definidos pelo entalhamento da planície e pelos platôs presentes no tabuleiro costeiro. A origem desta planície está associada aos processos fluviais do rio Acaraú que ora desenvolve padrão de canal retilíneo, ora meandrante e ora multica-

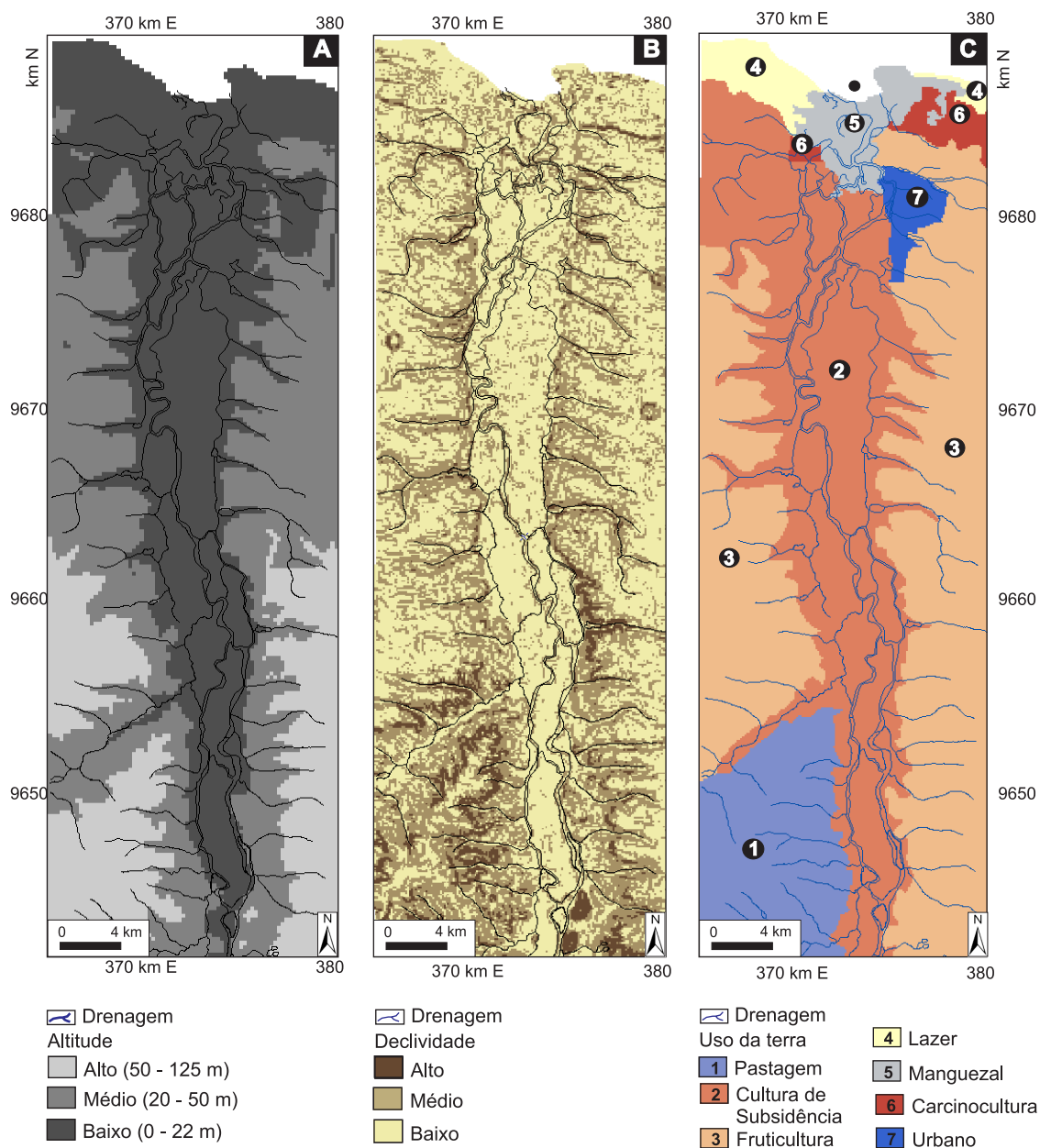


FIGURA 2. Mapa do baixo curso do rio Acaraú: A) Mapa Altimétrico, originado da extração de curvas de nível e pontos cotados de imagens SRTM; B) Mapa de Declividade, a partir de SRTM; C) Mapa de Uso da Terra determinado pela classificação de imagens de satélite.

nal, formando inúmeros canais de pequena magnitude. As atividades socioeconômicas nesta unidade são determinadas pelas imposições da geomorfologia impressa no relevo, à restrição de ocupação de fruticultura irrigada, carcinocultura e pastagem.

A planície fluvial está sujeita a inundações diárias, essencialmente pelo regime das marés e sazonalmente pela oscilação do nível freático. Tal planície exerce importante controle nos ambientes que ali se desenvolvem.

O rio Acaraú é o principal retroalimentador e distribuidor de matéria e energia, manutenção das condições

físico-químicas e biológicas que estão associados por regimes de pulso de inundação (Junk, 1989), e pelas variáveis hidrológicas de conectividade numa escala temporal.

As variáveis de estado dependentes e controladoras da geomorfologia local, como a altitude, a baixa declividade, o uso da terra e a baixa energia no sistema, preservam as formas de relevo. Porém, a presença do solo Neossolo Flúvico torna a planície suscetível ao processo de erosão.

A Unidade Tabuleiro Costeiro é de maior elevação da área, com altitude entre 50 e 125 m. O relevo é

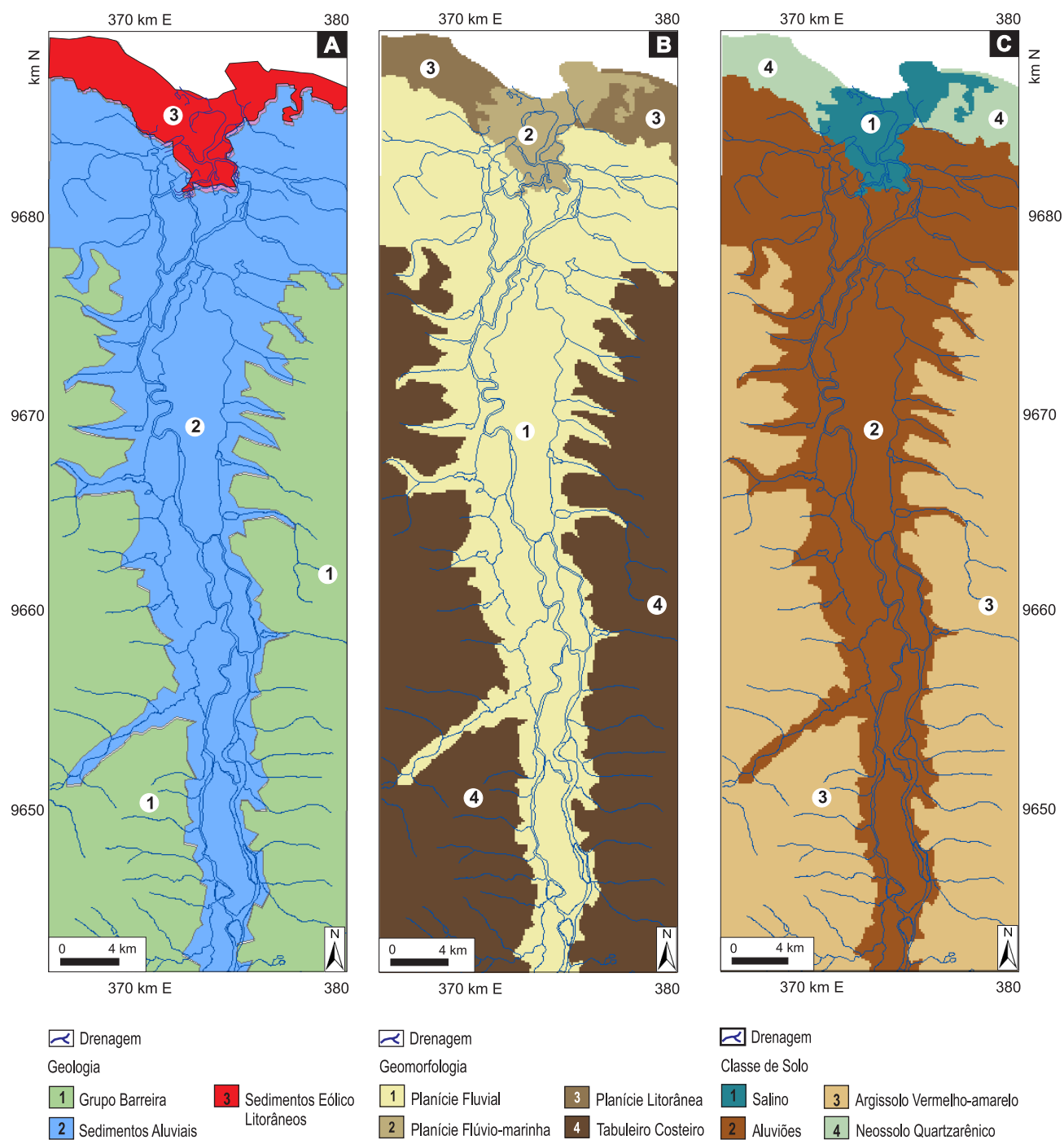


FIGURA 3. Área de baixo curso do rio Acaraú: A) Mapa de geologia, adaptado (CPRM, 2003); B) Mapa de geomorfologia, modificado de RADAMBRASIL (1981); C) Mapa de classes de solo, alterado do IPECE (2002).

relativamente plano a suave ondulado, com baixas taxas de erosão por processos denudacionais e uso da terra.

As variáveis dependentes de maior hierarquia que comandam a geomorfologia desta unidade restringe ao predomínio de Argissolo (EMBRAPA, 2006) e a declividade que distribui a energia potencial no sistema. A ocupação antrópica em suas atividades econômicas, sem restrições dos aspectos físicos, é de uso agropastoril

e provavelmente o fator de maior impacto para a unidade.

A fragilidade nos setores de transição desta unidade com a planície fluvial, apresenta a 9% de declividade. É verificado um aumento da energia do relevo que é típico de setores de ruptura topográfica, que levam ao estabelecimento dos limites entre as unidades, e apresenta o maior grau de susceptibilidade a erosão (Foto 1).



FOTO 1. A) Tabuleiro costeiro relevo suave ondulado – Morrinhos, CE; B) Rochas consolidadas bordejando a margem esquerda do Acaraú - Município de Acaraú.

A Unidade Planície Litorânea com altitudes entre 0 a 40 m e declividade inferior a 3% é caracterizada por sedimentos inconsolidados de textura que varia de areia média a areia grossa. O retrabalhamento da ação do vento associado às marés de sizígia condiciona a modelagem do relevo em plano ondulado. A vegetação rasteira (gramíneas) presente nesta unidade define os limites da oscilação e controle das marés.

A formação de dunas por deflação eólica é a feição mais marcante nesta unidade. Com morfologia alongada, acompanham a linha de costa que margeia o oceano, com desenvolvimento de extensos paredões descontínuos onde predominam processos deposicionais pela ação dos efeitos de marés (Foto 2). A grande energia nessa face do sistema, o tipo de solo e a alta declividade sugerem a atuação de erosão gravitacional.



FOTO 2. Desmatamento da mata ciliar e de tabuleiro e exposição de terraço na margem esquerda do rio Acaraú (Foto Nascimento, 2006).

A Unidade Planície Flúvio-Marinha com altitudes entre 40 e 50 m é a menor unidade mapeada, com declividade predominante menor que 3% e alguns trechos a 6%. Apresenta um sistema de funcionamento complexo formado por outros sub-ambientes. Como ocorre a formação de manguezais com diferentes graus de conectividade com as marés e com os tributários do rio Acaraú, a cobertura vegetal instala-se em substratos de várzea de formação recente sob solo salino e com deficiência de oxigênio, predominando vegetação do tipo halófitas.

Apesar da topografia suave entre esta unidade e a Unidade Planície Litorânea, as diferenças altimétricas, a prática de culturas predominantes e o tipo de solo podem apresentar desequilíbrio desta paisagem, aumentando o potencial de susceptibilidade de erosão.

O mapa de solos apresenta quatro classes: solos Aluviões, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico e Salinos, importante para o entendimento do manejo adequado e sua vulnerabilidade ambiental (Figura 3C).

MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE

O mapa de susceptibilidade a erosão é dividido em cinco domínios e descreve os diversos graus de erosão da área (Figura 4).

As variáveis naturais que determinam o potencial de erosão estão associadas pelo nível de elevação do terreno, declividade, classe de solo e o substrato rochoso. O desnível do terreno e a declividade do relevo são fatores condicionantes que regem a intensidade do fluxo e refluxo da drenagem que determinam a potencialidade natural de erosão do sistema (Tundisi, 2006).

As áreas estabelecidas como grau de muito baixo, principalmente na área estuarina, são menos suscetíveis

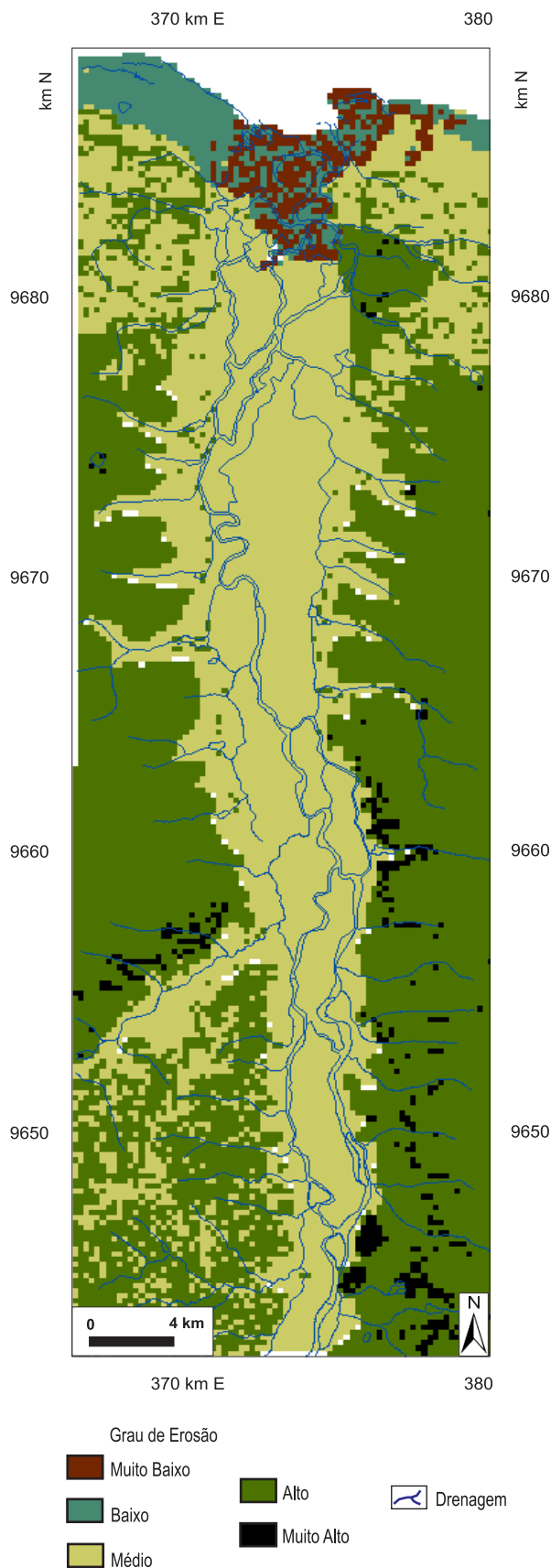


FIGURA 4. Mapa de Susceptibilidade à Erosão.

a erosão, sendo que a dinâmica natural exerce um processo de retroalimentação positiva ou integrada compensatória, cujos agentes pedogenéticos de formação desta paisagem acompanham o equilíbrio natural.

A área com baixo grau de erosão, potencialmente alto grau de assoreamento, é praticamente restrita a faixa de ocorrência de mangue, bioma extremamente vulnerável a alterações ambientais, pois sofre influência tanto do regime fluvial quanto pelo regime de marés.

Estas áreas estão em contato com a planície litorânea, onde ocorre o transporte de sedimentos arenosos por processos eólicos. A direção dos ventos predominantes na área costeira é de oeste para leste. Aliado a este processo, é constatado também a exumação de algumas áreas de mangue que são substituídas por viveiros de camarão. A instalação da estrutura associada a esta prática, como barracões e acessos à área, também contribui com a diminuição do manguezal.

A área de médio grau de erosão está localizada nos Tabuleiros Costeiros, diretamente associados às zonas com declividade próximas ao nível do terreno (canal fluvial). Predominam atividades de uso urbano, carnicultura e fruticultura irrigada.

Esta área corresponde basicamente à planície aluvial do rio Acaraú e áreas baixas em sua foz. O material carreado provém da erosão das áreas de Tabuleiro e principalmente, das áreas de pastagem do quadrante sudeste do vale. Nesta área ocorre agricultura de subsistência, que embora não empregue técnicas avançadas de cultivo, aparentemente não resultam em danos acentuados do ponto de vista de erosão ou assoreamento.

Em contrapartida, o predomínio do Argissolo Vermelho-amarelo no tabuleiro costeiro exerce maior domínio de susceptibilidade no sistema que atribuído a outras variáveis, como a declividade compõem as variáveis de maior hierarquia e influência no domínio de alto grau de susceptibilidade. Dentre as variáveis de estado que exerce influência no grau de potencialidade do sistema, o uso da terra, antes formada pela vegetação de caatinga e mata ciliar de carnaúba foi substituída por pastagens e modelos produtivos de agroecossistema. As conseqüências são vistas pelas formas de voçorocas desenvolvidas na área, descrita por Nascimento (2006).

As áreas definidas como grau muito alto de susceptibilidade correspondem ao contato entre o domínio de Tabuleiros Costeiros e a planície fluvial. São áreas com alto potencial erosivo, caracterizadas por elevada declividade (Figura 2B). Neste caso, outras variáveis de estado que seriam propensas a comandar o grau de erosão, como a classe de solo e a geologia, ambos não exercem maior domínio no fator de erodibilidade quanto a declividade.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O SIG demonstra ser uma ferramenta essencial e de grande importância para estudos de uso, ocupação e de manejo da terra.

Embora a área de estudo apresente um relevo relativamente plano e com baixa declividade, ocorrem processos evidentes de erosão e assoreamento (Figura 4).

Especificamente na área estudada, é patente o uso inadequado das elevadas por atividade de pastejo, com retirada da vegetação natural de proteção do solo e que resulta em processos erosivos por manejo inadequado, como o sobrepastejo. Este processo reflete diretamente no assoreamento das partes baixas, representadas pela planície aluvionar e pelo mangue.

É possível afirmar que o manguezal é o bioma mais impactado dentre os constituintes da área, visto ser agredido tanto por atividades antrópicas indiretas como por erosão das áreas de pastejo e de encosta a montante, quanto por atividades antrópicas diretas, como instalações de viveiros para carcinicultura (Foto 3).



FOTO 3. Viveiros de camarão no baixo curso do rio Acaraú. Ambiente considerado de médio grau de susceptibilidade de erosão (Foto Nascimento, 2006).

Contudo, a área com grau muito baixo de erosão e potencialmente apresenta alto grau de assoreamento, coincide com uma parte do manguezal localizada a margem esquerda da foz do rio Acaraú. A ocorrência deste processo apenas nesta área indica que o material sedimentar não provém diretamente das partes mais elevadas da área. A direção dos ventos, de oeste para leste, indica que o assoreamento vigente nesta área ocorre por processos eólicos, ou seja, movimentação de dunas arenosas por ação de ventos, com retransporte dos sedimentos provenientes das partes mais elevadas.

O grau muito alto de erosão é verificado apenas nas áreas de quebra de topografia, no Tabuleiro Costeiro

e limites marginais com a planície fluvial. A alta energia no sistema conseqüente do acréscimo na declividade é a variável de maior hierarquia e peso para o aumento da susceptibilidade de erosão. O surgimento de voçorocas, neste ambiente, provoca o afloramento do nível freático, expondo-o aos impactos resultantes do uso de fertilizantes e pesticidas pela agricultura e efluentes urbanos. Nas áreas de Tabuleiro associado a este processo, também pode ocorrer o rebaixamento do nível freático e redução de disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, visto que o nível freático também contribui para a recarga do rio Acaraú.

O alto grau de erosão é verificado nas áreas de Tabuleiro. A conseqüente substituição da vegetação nativa (caatinga) por pasto neste ambiente contribui para o aumento da fragilidade e ação de processos erosivos. Esta substituição aliada as más condições de manejo e uso do solo gera compactação do solo e redução da capacidade de infiltração das águas de chuva, fatores como baixa declividade.

Os impactos na área de médio grau de erosão são relativamente menores frente à capacidade de transporte de sedimentos provenientes das áreas mais elevadas. Entretanto, o canal fluvial apresenta sinais de impactos causados pela sedimentação de matérias além da capacidade de transporte do rio, como a frequência no aumento da quantidade e extensão de barras arenosas ao longo do canal, redução constante da espessura da lâmina de água, alargamento do canal e conseqüente aumento da área inundada durante o período das chuvas. As conseqüências diretas para a economia do vale são: a redução na capacidade de navegação do rio, redução da disponibilidade de pescado, redução de áreas agricultáveis nas margens e redução da disponibilidade hídrica do rio (Foto 4).



FOTO 4. Área de média susceptibilidade no município de Morrinhos. A foto mostra a serra da Meruoca (CE) ao fundo e a planície de inundação urbanizada, bordejando o rio Acaraú.

CONCLUSÃO

O conjunto de processos desencadeados pelo uso da terra apresenta impactos em todo baixo curso do rio Acaraú.

A manipulação de sensores remotos em ambiente SIG pode auxiliar no planejamento e gestão sustentável desta área. O cruzamento de elementos que constituem o meio físico (geomorfologia, geologia, elevação e declividade), com a forma de uso e ocupação da terra, permite identificar o grau de impacto da atividade antrópica neste ambiente.

A identificação das áreas de origem e deposição de sedimentos, caracterização dos processos que desencadeiam a erosão, transporte e deposição de

sedimentos, impactos diretos e indiretos do processo de erosão e assoreamento permitem o planejamento de ações corretivas de médio e longo prazo, com o objetivo de minimizar os impactos resultantes da atividade humana na área.

Ainda são previstas novas atividades em campo, para compreensão mais adequada dos processos físicos atuantes, além de coleta de solo e rocha para datação, caracterização físico-química e mineralógica. A partir destes resultados, será possível a reavaliação dos pesos propostos deste trabalho, para eventuais modificações e aprimoramento do produto SIG.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. A Fundação de para Desenvolvimento da UNESP – FUNDUNESP, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Sobral-CE – COGHER.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 355 p., 1990.
2. BUENO, C.R.P. & STEIN, D.P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2004.
3. CAVALIERI, A.; HAMADA, E.; ROCHA, J.V.; LOMBARDI NETO, F. Aplicação de sistema de informações geográficas em degradação do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: INPE, 1996, p. 91-92.
4. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Estado do Ceará, Escala 1: 500.000**. Ministério das Minas e Energia, DNPM-CPRM, Fortaleza-CE, 2003.
5. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. **Imagem de Satélite**. Disponível em: <http://www.embrapa.com.br>. Acessado em 10jun2007.
6. FERNANDES, A. **Temas fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 116 p., 1990.
7. FERNANDES, A. & BEZERRA, P. **Estudo fitogeográfico do Brasil**. Stylus Comunicações, Fortaleza, 205 p., 1990.
8. FIGUEIREDO, M.A. Vegetação. **Atlas do Ceará**. Instituto de Planejamento do Estado do Ceará, Fortaleza, p. 24-25, 1997.
9. IPECE - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E PESQUISA DO ESTADO DO CEARÁ. **Atlas escolar do Estado do Ceará**, 1ª. Edição, 230 p., 2002.
10. JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do estado do Ceará: descrição de perfis de solos e análises**. Recife: MA/DNPEA - SUDENE/DRN, 502 p., 1973.
11. JUNK, J.W.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D.P. (Ed.), *Proceedings of the International Large Rivers Symposium, Canadian Special Publication Fish and Aquatic Science*, p. 110-127, 1989.
12. LIMA, L.C.; SOUZA, M.J.N.; MORAIS, J.O. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Fundação Universidades Estadual do Ceará, 268 p., 2000.
13. MEIRELES, A.J.A. **Mapeamento geológico/geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará**. Recife, 1991. 195 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco.
14. MOREIRA, M.C.; CECÍLIA, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 30, p. 1069-1076, 2006.
15. NASCIMENTO, F.R. **Degradação Ambiental e desertificação no nordeste Brasileiro: O contexto da bacia hidrográfica do rio Acaraú – Ceará**. Niterói, 2006. 308 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense.
16. NETO, N.P. **Relatório de Acompanhamento das Atividades de Extração de Controle Ambiental e Recuperação das áreas degradadas**. Fortaleza-CE, 108 p., 1990.
17. OKA-FIORI, C.; KOZCIK, S.; CIALI, A.; FIORI, A.P. Estimativa da erosão dos solos da folha de rio Itiquira (MT/MS). *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, PR, v. 47, p. 31-44, 1999.

18. RIBEIRO, L.S. & ALVES, M. DAG. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 3039-3046.
19. SILVA, A.M. Potencial Natural de Erosão no município de Sorocaba, SP, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 8, n. 1, p. 1-4, 2008.
20. SILVA, J.B. **Ceará - Um novo olhar geográfico**. Edições Demócrito Rocha, 480 p., 2005.
21. SOUZA, M.J.N. **Projeto Áridas**. Fortaleza: Secretaria de Planejamento do Estado do Ceará, v. 2, p. 143-162, 1995.
22. STANFORD, J.P.; RIBEIRO, A.G.; BARROS, M.J.G.; FONSECA, R.A. Geologia - Potencial dos Recursos Hídricos. **Projeto RADAMBRASIL, Folha AS. 24. Fortaleza**. Rio de Janeiro: Ministério da Minas e Energia, Relatório Final, 448 p., 1981.
23. TUNDISI, J.G.; TIZIANI, V.; NAKASU, L. Plano de Desenvolvimento Sustentável do Vale do Acaraú-Plandesva. In: J. FALCÃO SOBRINHO & C.L. da C. FALCÃO (Orgs.), **Semi-Árido – Diversidades, Fragilidades e Potencialidades**. Sobral: Edições Sobral, 1ª. Ed., 95 p., 2006.
24. VIEIRA, M.N.F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; CHAVES, R.S. **Levantamento e Conservação do Solo**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 210 p., 1996.
25. ZANELLA, M.E. As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. **Ceará: um novo olhar geográfico**. Edições Demócrito Rocha, p. 169-188, 2005.

*Manuscrito Recebido em: 20 de agosto de 2008
Revisado e Aceito em: 21 de novembro de 2008*

