

Etchplanação da Ibiapaba Setentrional, Noroeste do Ceará: abordagem dos principais processos erosivos

Etchplanation of Ibiapaba Northern, Northwest of Ceará:
approach of main erosive processes.

MOURA-FÉ¹, M. M.
marcelo.mourafe@urca.br

Resumo

A teoria da etchplanação propõe a análise integrada dos processos de morfogênese e pedogênese na análise geomorfológica de cunho evolutivo, mormente àquelas relacionadas as etapas de modelagem das feições morfológicas. Assim, a partir dos contextos intempérico-erosivos, relacionados a outros fatores naturais, tais como as litologias, topografia e parâmetros climáticos predominantes, dentre outros, esta base teórica foi utilizada para a evolução geomorfológica da Serra da Ibiapaba, com ênfase na abordagem dos principais processos erosivos verificados na região e suas implicações, objetivo principal deste trabalho. Metodologicamente, associado a esse princípio teórico, foi utilizado um contingente metodológico, o qual se apoiou nas etapas de gabinete, com detalhados e criteriosos levantamentos bibliográfico e cartográfico, na realização de levantamentos de campo e na análise integrada de todos os dados na etapa de laboratório, com ênfase nos mapeamentos temáticos da Ibiapaba e região. Os resultados obtidos apontam que os princípios teórico-metodológicos presentes na teoria da Etchplanação apresentam-se significativamente aplicáveis ao estudo evolutivos dos relevos presentes no semiárido da região Nordeste do país, mais precisamente, das serras úmidas, onde o intemperismo químico apresenta maior influência, contribuindo de forma significativa para o entendimento da evolução geomorfológica da Ibiapaba.

Palavras-chave: Evolução Geomorfológica. Geodiversidade. Patrimônio Geomorfológico.

Abstract

The theory of etchplanation proposes the integrated analysis of the processes of morphogenesis and pedogenesis in the geomorphological analysis of an evolutionary character, especially to those related to the morphological features modeling stages. Thus, from the intemperic-erosive contexts, related to other natural factors, such as lithologies, topography and predominant climatic parameters, among others, this theoretical basis was used for the geomorphological evolution of Ibiapaba, with emphasis on the approach of the main erosive processes verified in the region and its implications, the main objective of this work. Methodologically, associated to this theoretical principle, a methodological contingent was used, which was based on the cabinet stages, with detailed and detailed bibliographical and cartographic surveys, field surveys and the integrated analysis of all data in the laboratory stage, with emphasis on the thematic mappings of Ibiapaba and region. The results show that the theoretical-methodological principles present in the theory of Etchplanation are significantly applicable to the evolutionary study of the reliefs present in the semi-arid region of the Northeast of Brazil, more precisely, the wetlands, where chemical weathering has a greater influence, contributing In a significant way for the understanding of the evolution of Ibiapaba's geomorphological evolution.

Keywords: Geomorphological evolution. Geodiversity. Geomorphological Heritage.

1. INTRODUÇÃO

Os diferentes padrões climáticos que se sucederam (ARZ et al., 1998; 1999; AULER; SMART, 2001; BEHLING et al., 2000; BARROS et al., 2011; WANG et al., 2004) desde o período de soergimento da Ibiapaba e do embasamento adjacente na região NO do Ceará (início cenomaniano e término eocênico / 100-56 Ma) pelo processo de flexura marginal (estágio pós-rifte) (CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2007; 2006; BÉTARD; PEULVAST, 2011), até hoje, atuaram

¹Marcelo Martins de Moura-Fé, Degeo/GeoPed, Univerisdade Regional do Cariri, Crato-CE, Brasil

no intemperismo e erosão das morfoestruturas da região, modelando-as de formas diferenciadas, a partir das suas respectivas características geológicas e geomorfológicas (MOURA-FÉ, 2015).

No processo de modelagem, de maneira geral, pedogênese e morfogênese atuam simultaneamente (QUEIROZ NETO, 2011), ao passo que a pedogênese pode ser considerada como um fator intrínseco à morfogênese, modificando as características superficiais da litosfera e influenciando os mecanismos fundamentais de evolução do relevo (TRICÁRT, 1968).

Sobre essa premissa, a teoria da etchplanação de evolução do relevo (BÜDEL, 1982) apresenta o papel e a importância dos processos geoquímicos e pedológicos na evolução geomorfológica através das relações intrínsecas entre morfogênese e pedogênese. Para esse modelo evolutivo, nas regiões tropicais o intemperismo químico age de forma intensa, permitindo o desenvolvimento do manto de intemperismo através da decomposição das rochas sãs e a perda de massa litosférica em decorrência da saída de elementos do sistema intemperizado em solução na água subterrânea (ÁTILA; CARVALHO, 2012).

Sabe-se que a zona de ocorrência da água subterrânea é uma região onde é iniciada a maioria das formas de relevo, pois a água subsuperficial é o principal meio das reações do intemperismo químico, redistribuindo ou eliminando elementos das vertentes (KARMANN, 2003; QUEIROZ NETO, 2000). Ao movimento lateral da água na subsuperfície dá-se o nome de escoamento subsuperficial, que afeta diretamente a erodibilidade dos solos, antecedendo ou acelerando processos erosivos superficiais e influenciando no transporte de minerais em solução (QUEIROZ NETO, 2000; FLORENZANO, 2008).

Assim, a partir dos contextos intempérico-erosivos, relacionados a outros fatores naturais, tais como as litologias, topografia e parâmetros climáticos predominantes, dentre outros, esta base teórica foi utilizada para a evolução geomorfológica da Ibiapaba, com ênfase na abordagem dos principais processos erosivos verificados na região e suas implicações, objetivo principal deste trabalho.

A determinação específica da área setentrional para este estudo, dentro dos 380 km de extensão da Ibiapaba, não se deu por acaso. As suas dimensões regionais e a dificuldade em se trabalhar todo o modelado no período de vigência do doutorado, determinaram a escolha de um fragmento para a realização do estudo.

Além do limite temporal, foram considerados de forma criteriosa e com base no conhecimento prévio da região, os elementos logísticos e, sobretudo, as características geográficas e geomorfológicas mais significativas, realizou-se um recorte espacial do modelado, privilegiando os setores centro-norte e norte da Ibiapaba, bem como os respectivos entornos

setentrional e oriental, as quais compõem a região noroeste do estado do Ceará. A área de estudo é apresentada na Figura 1.

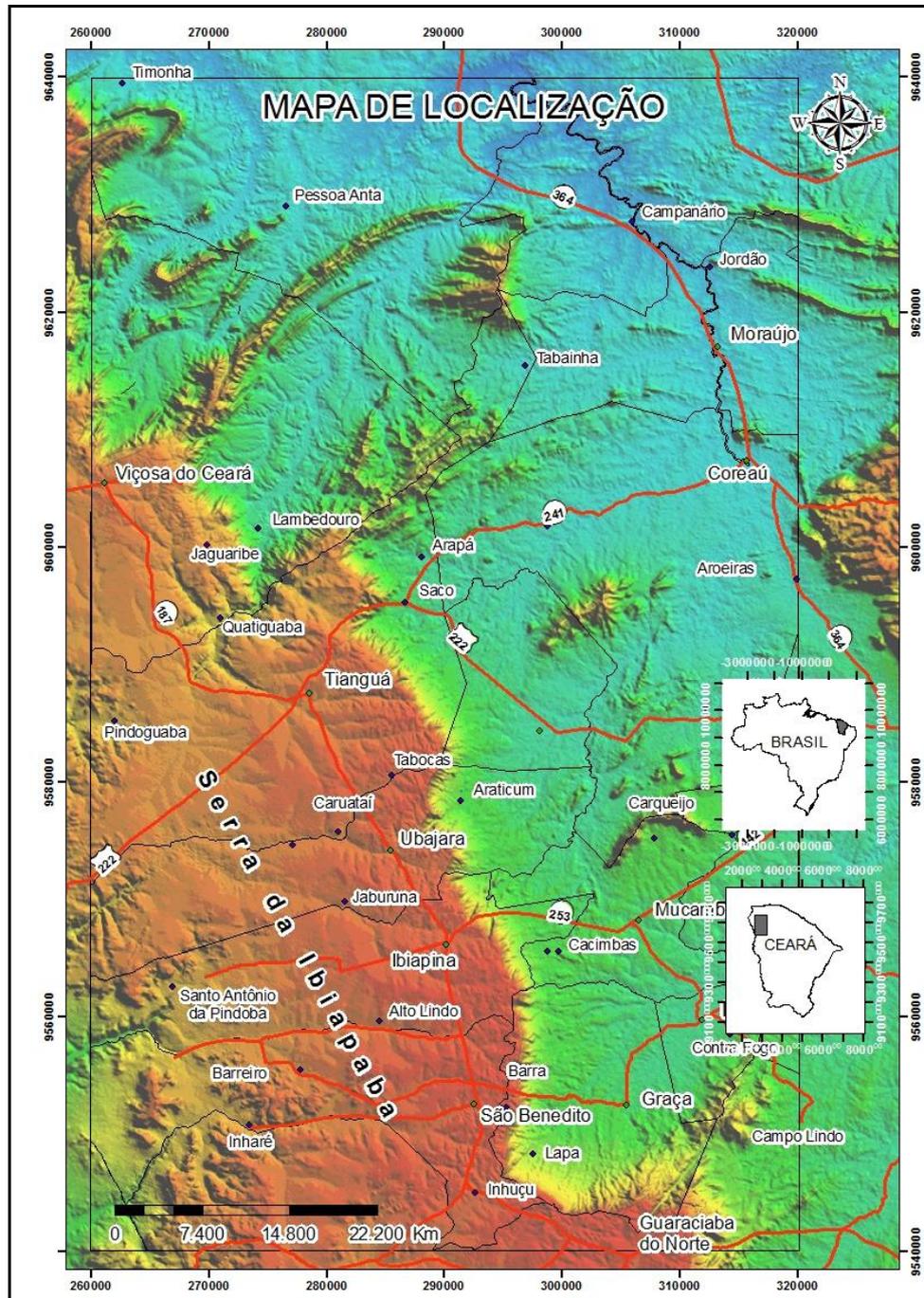


Figura 1: Mapa de localização da Ibiapaba e áreas adjacentes, região Noroeste do estado do Ceará.
Fonte: Moura-Fé (2015).

2. METODOLOGIA

O processo de modelagem da paisagem pode ser importante tanto para a gênese das morfoestruturas quanto das morfoesculturas, tipologias geomorfológicas fundamentais para a proposta de análise estrutural. No centro dos diversos processos de modelagem está a capacidade de

modificação das formas de relevo embutida dentro do que é a teoria da etchplanation, numa tradução livre, etchplanação.

A partir desse embasamento teórico, o itinerário metodológico percorrido foi compartimentado em duas linhas: no embasamento teórico, centrado na abordagem das temáticas centrais deste artigo, a qual é embasada na teoria da etchplanação e na utilização de um contingente técnico associado, o qual foi compartimentado nas etapas de gabinete, campo e laboratório.

A etapa de gabinete, referiu-se ao levantamento de materiais, dividida em dois grupos distintos: bibliográfico e cartográfico. O levantamento bibliográfico abordou a produção científica associada aos temas de pesquisa propostos. A busca se deu, sobremaneira, por meio do portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), objetivando a seleção e download de artigos científicos relevantes e atuais.

O levantamento cartográfico se constituiu em diversos mapas temáticos, imagens de satélite, arquivos *shapes* e imagens de radar, cartas topográficas e imagem SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica de Radar Transportado), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), escala 1:250.000 (1998).

Já os levantamentos de campo foram realizados em diferentes momentos, feitos em dias consecutivos e programados antecipadamente, com percurso, datas e objetivos pré-determinados. Os levantamentos foram concentrados em segmentos distintos da região, visando dar maior celeridade à realização das atividades. Em todas, foram feitos registros fotográficos das características topográficas, morfométricas, morfoestruturais e morfoestratigráficas dos relevos e seus contatos, além da determinação das coordenadas UTM de todos os elementos abordados.

Por fim, as atividades de laboratório consistiram inicialmente em análises detalhadas, tanto de material impresso quanto digital de diversos mapas e cartas: Mapa geológico do estado do Ceará, na escala 1:500.000; Mapa morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e Paraíba (CPRM, 2003), cartas topográficas da SUDENE (1977), escala de 1: 100.000, mapas e cartas temáticas, dentre outras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Etchplanação

A teoria da etchplanação procura destacar o papel do intemperismo e sua associação com a estrutura, a litoestrutura e as variações climáticas no desenvolvimento das formas de relevo, particularmente nas regiões tropicais quentes e úmidas (VITTE, 2001).

No modelo desenvolvido por Penck (1953), de acordo com Vitte (2001), muito embora ocorresse a explicitação da relação dialética entre as forças endogenéticas e exogenéticas na

constituição das formas de relevo, ainda havia uma forte ligação com o processo de soerguimento crustal e com o papel da dissecação fluvial, sem, entretanto, especificar o papel da litologia e do intemperismo na dinâmica dos canais fluviais e das vertentes.

O conceito “etch” foi desenvolvido por Willis (1936, apud ADAMS, 1975) como o resultado da interação entre a corrosão fluvial e a decomposição da rocha na produção do relevo. Este conceito foi aplicado para contrastar com a peneplanação, muito embora o autor considerasse que um peneplano poderia dar origem a uma superfície de *etching* (VITTE, 2001).

Esquemáticamente, conforme Büdel (1982), a formação do relevo inicia-se com o abaixamento gradual da superfície, determinado pela velocidade de aprofundamento da alteração e pelas características topográficas do *front* de alteração. Estas características são provocadas pela existência de falhas, de fraturas e de seu arranjo, os quais funcionam como passagens para a água e, portanto, como vias de erosão.

A tendência do intemperismo químico a produzir formas arredondadas, a progressão do intemperismo para rebaixar (*downwards*) superfícies, o contraste do intemperismo entre locais secos e úmidos, a suscetibilidade à erosão diferencial de rochas resistentes e friáveis e os efeitos da intensificação, enfim, são aspectos dinâmicos pertinentes à etchplanação (TWIDALE, 2002).

No processo de modelagem, de maneira geral, sabe-se que pedogênese e morfogênese atuam simultaneamente (QUEIROZ NETO, 2011), ao passo que a pedogênese pode ser considerada como um fator intrínseco à morfogênese, modificando as características superficiais da litosfera e influenciando os mecanismos fundamentais de evolução do relevo (TRICÁRT, 1968).

Sobre essas premissas, a teoria da etchplanação de evolução do relevo (BÜDEL, 1982), base teórica deste trabalho, apresenta o papel e a importância dos processos geoquímicos e pedológicos na evolução geomorfológica através das relações intrínsecas entre morfogênese e pedogênese.

Na etchplanação a zona de ocorrência da água subterrânea é uma região onde é iniciada a maioria das formas de relevo, pois a água subsuperficial é o principal meio das reações do intemperismo químico, redistribuindo ou eliminando elementos das vertentes (QUEIROZ NETO, 2000; KARMANN, 2003).

Ao movimento lateral da água na subsuperfície dá-se o nome de escoamento subsuperficial, que afeta diretamente a erodibilidade dos solos, antecedendo ou acelerando processos erosivos superficiais e influenciando no transporte de minerais em solução (QUEIROZ NETO, 2000; FLORENZANO, 2008).

Sendo assim, na análise morfodinâmica da paisagem, sob o viés da etchplanação, é imprescindível analisar o processo de pedogênese e sua correlação com a ação da morfogênese, ambos amplamente associados com o quadro hidroclimático, seja atual, seja pretérito.

De maneira geral, a ação geomórfica da água subterrânea no lento processo de escoamento subsuperficial se traduz por vários processos de modificação da superfície e seus respectivos produtos, os quais são sintetizados no Quadro 1.

AÇÃO GEOMÓRFICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	
Processo	Produto
Pedogênese (intemperismo químico)	Cobertura pedológica (solos)
Solifluxão	Escorregamento de encostas
Erosão interna, solapamento	Voçorocas
Carstificação (dissolução)	Relevo cárstico, cavernas, aquífero de condutos

Quadro 1: Processos e produtos associados ao escoamento subsuperficial. **Fonte:** Karmann (2003).

Conforme Átila e Carvalho (2012), a principal contribuição dos processos pedogenéticos aos processos de aplainamento das paisagens e modelagem dos relevos na etchplanação reside na preparação de material para a ação dos processos mecânicos que ocorrem na superfície através de um mecanismo de dupla planação: (1) a superfície de intemperismo basal (*leaching surface*), localizada em subsuperfície, onde atua a denudação geoquímica; e (2) a superfície exumada por lavagem (*washing surface*), correspondente à superfície do modelado propriamente dita, onde predominam os processos mecânicos de escoamento superficial.

Como frisa Karmann (2003), o movimento da água subterrânea, somado ao da água superficial são os principais agentes geomorfológicos da Terra. Na região da Ibiapaba setentrional, sob a influência de padrões climáticos diferenciados, os quais podem ser caracterizados em um predomínio semiárido intercalado com períodos de climas mais úmidos, o processo de etchplanação conduziu a modelagem das feições morfoestruturais, essencialmente herdadas do Cretácico, durante o transcorrer do Cenozoico (BÉTARD; PEULVAST, 2011), embutindo feições nessas formas, as morfoesculturas da Ibiapaba e região, resultantes dos processos intempérico-erosivos da etchplanação e ainda presentes na paisagem (MOURA-FÉ, 2015).

Por qualquer nome que seja conhecido: etch, duplo aplainamento, subcutânea, ou em duas fases, a teoria da etchplanação traz não só a origem de uma vasta gama de formas de relevo, mas também o papel crucial da água e do intemperismo, a idade de formas de relevo e paisagens, as reconstruções paleogeográficas, a geomorfologia climática e teorias do desenvolvimento da paisagem, configurando-se, assim, num conceito amplamente aceito e como uma ferramenta valiosa na análise e interpretação de paisagens em suas definições espacial e temporal (TWIDALE, 2002).

Assim, no modelo evolutivo da etchplanação o 1º processo modelador a atuar sobre o manto intemperizado é o escoamento superficial, iniciando a 2ª etapa da etchplanação, processo verificado nas paisagens da Ibiapaba e região.

Escoamento Superficial

O escoamento superficial pode ser considerado como todo escoamento de águas pluviais nas vertentes, condicionado pela topografia. Para sua ocorrência, deve haver: precipitação, infiltração, saturação da infiltração, acúmulo em superfície e escoamento, cuja capacidade erosiva estará atrelada às características locais (declividade, profundidade e coesão dos solos, tipologia da cobertura vegetal etc.), em conjunto com a vazão de água.

Sob esse agregado conceitual, esse processo erosivo básico tem uma tipologia, classicamente feita em escoamento superficial: difuso, concentrado ou em lençol, cuja diferenciação é apresentada no **Quadro 2**.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL	
Tipologia	Características Básicas
Difuso	- Ocorre a partir de chuvas de pequena magnitude;
	- Solos com horizontes superficiais secos antes da ocorrência das chuvas;
	- Escoam sob a forma de filetes de água sobre as vertentes;
	- Desviam dos eventuais obstáculos (p. ex. vegetação ou afloramentos);
	- Erodem materiais finos - silte e argila.
Concentrado	- Ocorre concomitante às chuvas;
	- Horizontes de solo com ponto de infiltração saturado;
	- Resulta da junção dos filetes d'água do escoamento difuso;
	- Poder de incisão crescente associado encosta abaixo;
	- Provoca erosão linear e originam sulcos, ravinamentos e voçorocas.
Lençol	- Ocorre em áreas de afloramento da rocha sã, sem solo;
	- Escoa de forma relativamente homogênea, sem pontos preferenciais;
	- Remove o material superficial em forma de lâmina sobre a vertente;
	- Erode areia, seixos, calhaus e até matacões indiretamente (erodindo as bases de sustentação);
	- Mantem a forma da vertente, mas diminui o seu tamanho e não permite a formação de solo.

Quadro 2: Escoamento superficial – síntese conceitual. **Fonte:** Moura Fé (2015).

Considerando que a área delimitada para estudo apresenta uma diversidade topográfica, litológica e hidrográfica significativas (MOURA-FÉ, 2015), que vem se estabelecendo desde o Cretácico Superior, ao longo do Cenozoico, a ocorrência dos diferentes tipos de escoamento superficial, associados à ocorrência e amplitude das precipitações pluviais, sobretudo ao curso dos

períodos de maior umidade, é algo a ser considerado para todo o período de morfoesculturação, o que inclui os dias atuais.

Como se deduz a partir do quadro conceitual apresentado, os tipos de escoamento são inter-relacionados. Assim, mesmo nos setores suavemente ondulados e ondulados, é comum a ocorrência do escoamento superficial difuso, cujo adensamento gera a ocorrência do escoamento superficial concentrado.

Nas vertentes orientais da cuesta da Ibiapaba tem-se esse quadro mesmo nos setores mais densamente vegetados de mata úmida, com maior significância espacial nos setores mais íngremes até alcançar o vale de algum rio de 1ª ordem.

A Figura 2 mostra marcas de ravinamentos nas vertentes derivados dos processos de escoamento concentrado. Por outro lado, ao longo de trechos das vertentes da Ibiapaba (Figura 3), dos maciços e inselbergues, notadamente nos setores mais íngremes e onde as rochas apresentam-se desnudas, sem o recobrimento pedológico-vegetacional, há a ocorrência do escoamento superficial em lençol.



Figura 2: Ravinamentos na vertente da Ibiapaba. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

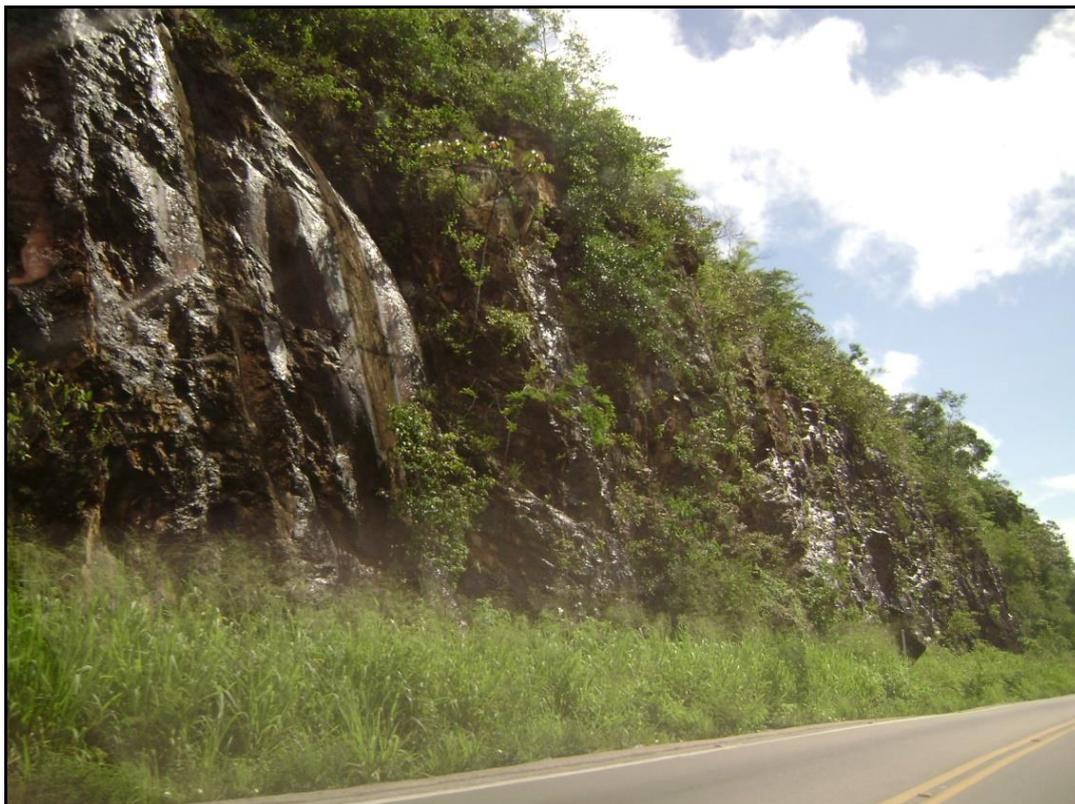


Figura 3: Escoamento superficial em lençol na vertente da Ibiapaba. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

Morfologicamente, o escoamento superficial fomenta o processo inicial de modelagem das vertentes, todavia, a ação desses processos não se dá de forma isolada. De forma ulterior, os processos de escoamento superficial, associados ao trabalho prévio de intemperização do escoamento subsuperficial, podem favorecer a ocorrência de movimentos de massa, verificados, sobremaneira, nas vertentes mais escarpadas da Ibiapaba e dos maciços.

Movimentos de Massa nas Vertentes

O 2º processo modelador, associado ao escoamento superficial, é o conjunto de movimentos de massa, conceituados como a movimentação de coberturas como solos ou sedimentos inconsolidados em encostas. Aliás, da mesma forma que ocorre com o conceito de escoamento, os movimentos de massa apresentam uma tipologia embutida, ainda mais diversificada, o que dificulta a elaboração de um quadro conceitual sintetizado, por exemplo.

Desta forma, assim como Bastos (2012), este item enfatiza a elaboração conceitual de Dikau (2004) (complementada com outros autores), que utiliza as terminologias adotadas pela Sociedade Geotécnica Internacional, no grupo de trabalho responsável pelos inventários acerca de movimentos de massa no mundo (*Working Party on World Landslide Inventory – WP/WLI*), vinculado à Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO).

De maneira geral, Dikau (2004) divide os movimentos de massa em: deslizamentos (*slides*) rotacionais (*rotational landslide*) e translacionais (*translational landslide*); deslizamento de blocos (*block slide*), quedas de blocos (*rockfalls*), tombamentos (*topple*), movimentos complexos (*complex movements*), os quais incluem a junção de dois tipos: fluxo de detritos (*debris flow*) e a avalanche (*debris avalanche*), mais os fluxos ou corridas (*earthflow*), o rastejamento (*creep*) e, por fim, os espalhamentos laterais (*lateral spread*). Essas tipologias estão caracterizadas resumidamente e ilustradas na Figura 4.

Conforme se percebe nas conceituações, o elemento declividade é comum entre eles, sendo imprescindível para a ocorrência e, por vezes, a diferenciação dos movimentos de massa. Naturalmente, os setores mais íngremes da área, as vertentes dos relevos mais elevados, com destaque para a vertente leste da Ibiapaba, configuram-se como áreas propícias para a ocorrência de alguns deles.

As encostas constituem uma forma de relevo caracterizada por uma acentuada fragilidade natural, que sob a interferência humana pode sofrer a aceleração de processos erosivos (AMORIM; OLIVEIRA, 2007), fomentando a ocorrência de perigos naturais, eventos capazes de produzir danos ao espaço físico e social, ou mesmo, desastres naturais, quando os impactos atingem segmentos da sociedade e/ou infraestrutura (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Por outro lado, a presença da vegetação é imprescindível para a estabilidade das vertentes e para a proteção aos perigos e desastres naturais. As raízes agregam as partículas do solo, aumentando a coesão e a resistência do solo, facilitam a infiltração de água no solo; o caule e as folhas reduzem a erosão laminar, dentre outros aspectos (COELHO; PEREIRA, 2006). Obviamente que, nos segmentos morfopedológicos dotados de uma cobertura vegetal de maior porte (matas úmidas, por exemplo), a proteção da superfície à ocorrência dos movimentos de massa é maior, sendo a relação inversa, verdadeira, em linhas gerais.

A Ibiapaba apresenta características naturais que proporcionam condições para o desenvolvimento de atividades econômicas, ligadas, sobretudo, às atividades agrícolas que crescem e ampliam suas áreas de produção, o que demanda supressão vegetal e vem sustentando um considerável crescimento populacional. Como se sabe, atrelado a isso, vem o crescimento da malha urbana e a ocupação de espaços que costumam ser recobertos, a priori, por vegetação.

Neste contexto, os setores da Ibiapaba mais propensos à ocorrência de movimentos de massa são aqueles onde a supressão da vegetação se dá em setores íngremes das suas vertentes. Por exemplo, isso ocorre junto às estradas, cujas obras de engenharia, mormente os cortes, que são segmentos de rodovia cuja implantação requer a supressão vegetal e a escavação do terreno natural ao longo do eixo e no interior dos limites das seções da via.

MOVIMENTOS DE MASSA					
Tipo	Características	Ilustração Conceitual		Tipo	Características
(A) Deslizamento Rotacional	Os deslizamentos ou escorregamentos são movimentos gravitacionais ao longo de uma ou mais superfícies de ruptura da encosta. As formas e quantidades de superfícies de ruptura diferenciam seus tipos: rotacionais e translacionais. Possui uma superfície de ruptura curva, côncava, que desloca normalmente uma grande quantidade de material de forma rotacional, vinculado a regiões solos bem desenvolvidos. Seu início vincula-se ao desgaste natural da base da encosta, ou ao desenvolvimento de condições artificiais, como o corte da encosta para a construção de estradas.			(F) Fluxo de detritos (movimentos Complexos)	Colapso estrutural do material de uma encosta a partir de uma fluidização, geralmente referido como um evento de elevada energia e magnitude significativa, tanto em termos de velocidade como destruição (corte de comunicação e de linhas de energia elétrica, soterramento de vales com detritos).
(B) Deslizamento Translacional	O material escorregado em ambos os tipos de deslizamentos pode envolver solo, rocha ou a combinação dos dois que se deslocam em velocidades que variam de extremamente lenta a muito rápida. Possui um plano de ruptura abrupto, bem definido, planar, e por ser um movimento de curta duração. Ocorrem durante chuvas intensas, quando é elevada a poro-pressão em uma superfície de descontinuidade.			(G) Avalanche de detritos (movimentos Complexos)	As avalanches são fluxos muito rápidos de grande quantidade de detritos secos, sem fluidos.
(C) Deslizamento em Blocos	Movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos, mobilizando um expressivo volume de material (inclusive grandes blocos de rochas) em um curto período de tempo, com grande velocidade e capacidade de transporte, o qual alcança grandes distâncias.			(H) Fluxo de terra	Movimentos em que as partículas individuais viajam separadamente ao longo do deslocamento da massa. Envolvem rochas altamente fraturadas e detritos clásticos de fino calibre. São caracterizados por movimentos internos diferenciados, distribuídos dentro da massa.
(D) Queda de Blocos	Movimentos livres de material a partir de encostas íngremes, também conhecidos como avalanche (<i>rockfall</i>). Ocorrem em falésias, margens íngremes de rios, bordas de planaltos e vertentes escarpadas de montanhas, além de áreas instabilizadas pela ação antrópica como nos cortes para construção de estradas. São provocadas por diversos fatores: ângulo da declividade, tamanho das juntas rochosas, tipos de rochas e sua deformação, além da cobertura vegetal. Ocorrem em áreas cujo material já se encontra bastante decomposto e, conseqüentemente, separado da rocha matriz.			(I) Rastejamento	São movimentos de rocha com deformação gravitacional profunda afetando massas de rochas homogêneas. São caracterizados pela presença de um elevado volume de massa. Sua pequena taxa de deslocamento (<0,3 m/ano) se dá fundamentalmente por ação da gravidade e sem ação da água. Ocorre provocando o envergamento da vegetação e, eventualmente, de postes alocados em áreas de vertentes.
(E) Tombamentos	É a rotação frontal de uma massa composta por rochas, detritos ou solos sobre um pivô em uma encosta. Pode culminar em uma queda abrupta ou deslizamento, mas a forma do movimento é de inclinação, sem colapso. Sua ocorrência pode resultar do enfraquecimento ou perda do material elástico subjacente pelo intemperismo, da dilatação e encolhimento de argilas em função de alterações na umidade do solo e erosão na parte inferior da encosta proporcionando desgaste suficiente para causar uma descarga de descompressão. Mas a principal força responsável por um tombamento é a separação de uma coluna de modo que a carga é transferida para uma base mais estreita com rocha mais fraca.			(J) Espalhamentos laterais	Espalhamento lateral se refere a uma extensão lateral de rochas coesas ou volumes de solos ao longo de uma massa subjacente de material mais macio deformado. O espalhamento de rochas é o resultado de uma profunda deformação plástica numa massa de rochas, levando-a a uma extensão na superfície. Isso pode ocorrer em uma rocha relativamente homogênea ou pode haver uma fratura recobrindo o estrato rochoso, levando ao stress gravitacional.

Figura disponível no site:
<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>
 (Acessado em abril de 2015)

Figura 4: Movimentos de massa – síntese conceitual. Fonte: Dikau (2004); Guimarães et al. (2008); Karmann (2003); Melo et al. (2005); Moura-Fé (2015).

O exemplo mais significativo desse quadro de intervenção e de riscos à ocorrência de movimentos de massa, notadamente nos períodos de ocorrência das chuvas, se dá no trecho da BR-222 (Figura 5) que perfaz a subida para o topo da Ibiapaba ao longo da vertente leste.



Figura 5: Visão geral do corte da estrada na vertente da Ibiapaba. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

Pontualmente, observa-se ao longo do escarpamento leste da Ibiapaba pequenas cicatrizes de deslizamento (Figura 6), da ordem de 10-20 m, em setores onde a ocorrência de chuvas mais fortes e o escoamento superficial mais intenso, provavelmente, romperam o equilíbrio que normalmente se tem nos setores de vegetação mais densa e provocaram a movimentação das camadas superiores dos latossolos encosta abaixo, por vezes, de blocos também.



Figura 6: Cicatrizes de deslizamento na vertente leste da Ibiapaba. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

Além dos setores passíveis de deslizamento e de queda de blocos, seja às margens das rodovias ou nas cicatrizes pontuais de deslizamento, a aparente estabilidade geomorfológica das vertentes recobertas por vegetação de porte florestal (paisagens morfopedológicas das matas úmida e seca) mascaram processos de tombamento de blocos. Ao longo da vertente leste da Ibiapaba, sob o dossel da vegetação local, verificam-se inúmeros blocos de rocha espalhados, vários de dimensões métricas, comumente interceptados pela vegetação (Figura 7).



Figura 7: Blocos de arenito retidos por vegetação. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

O contexto local indica que a movimentação desses fragmentos métricos de arenito deu-se, majoritariamente, por tombamentos diretamente da cornija arenítica, a partir tanto do descolamento dos blocos da coluna principal, cujo peso não pode ser sustentado pela base isoladamente, quanto pela erosão da base da cornija, no seu contato com a superfície soerguida dissecada.

Esses processos naturais de tombamento de blocos de arenito a partir da cornija, comuns nas cuestas, são potencializados por quedas d'água intermitentes, que geralmente transportam materiais finos, mas que tem vazão diretamente proporcional à ocorrência de chuvas de maior porte e, portanto, uma vazão variável.

Nos períodos de curta duração onde tem maior vazão, excepcionalmente o fluxo mais intenso das suas águas gera o que os moradores locais chamam de “trombas d'água”, o que conceitualmente parece ser um movimento de massa complexo, composto, nesses casos, por tombamentos de blocos e fluxo de detritos. Uma dessas ocorrências foi identificada na vertente do anfiteatro Ubajara (Figura 8).



Figura 8: Cicatriz de movimento complexo e blocos transportados. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

A conservação da vegetação ao longo das vertentes, bem como o posicionamento dos sítios urbanos dos municípios no topo afastados da escarpa leste da Ibiapaba, associado ao quadro de baixa ocupação dos maciços, proporciona um quadro natural de baixo risco, onde as possibilidades de maior ocorrência de movimentos de massa são minimizados.

Todavia, em função das características naturais analisadas até aqui, corroborado pelas ocorrências ainda pontuais (supracitadas), a região requer atenção para a manutenção das condições atuais, com o uso e ocupação da terra, considerando e respeitando as características morfoedológicas, sob o risco da possibilidade dos perigos e desastres naturais fazerem parte do cotidiano da região.

O Protagonismo Erosivo dos Rios

Dada sua capacidade de erosão, transporte e deposição, os rios são os principais agentes de transformação da paisagem, agindo continuamente na modelagem do relevo (NOVO, 2008; RICCOMINI et al., 2003). Aqui, constituem o 3º grupo de processos modeladores no processo de etchplanação, estreitamente associados aos dois grupos analisados anteriormente. De maneira geral, o potencial erosivo dos rios se dá por meio de 3 diferentes processos (Quadro 3).

Através desses processos os rios podem erodir seus canais verticalmente, aprofundando o talvegue, ou lateralmente, alargando o canal. O processo de aprofundamento do canal é denominado erosão vertical e o de ampliação da largura do leito, erosão lateral. A erosão vertical ocorre quando

há remoção de areias e cascalhos do leito fluvial. Nos canais escavados em rochas, a erosão vertical ocorre pela abrasão imposta pela carga do leito. A erosão lateral ocorre quando as margens do canal são removidas, geralmente, por solapamento basal e colapso (NOVO, 2008).

EROSÃO FLUVIAL	
Processo	Característica
Corrosão	Se dá por intemperismo químico resultante do contato da água com o canal e o leito fluvial.
Abrasão	Representa a ação mecânica da água que, ao se mover sobre o leito e dentro do canal, remove as camadas já intemperizadas.
Cavitação	Ocorre em canais cujas correntes estão sujeitas a grande velocidade, tais como trechos de corredeiras e quedas d'água.

Quadro 3: Erosão fluvial – síntese conceitual. **Fonte:** Novo, 2008.

Por fim, no tocante conceitual à deposição dos materiais, os rios podem depositar sua carga em qualquer ponto ao longo de seu curso, mas a maior parte do material é depositada nas seções onde o gradiente do canal é pequeno ou onde há mudanças bruscas no gradiente e na profundidade do canal, bem como na velocidade do escoamento (NOVO, 2008).

Voltando à área de estudo, conforme visto no capítulo anterior, na análise morfoestrutural específica da rede de drenagem regional, a mesma é macro-compartimentada no segmento estabelecido sobre a superfície sertaneja e na influência estrutural dos lineamentos NE-SO e L-O; e no condicionamento do caimento geral do reverso da Ibiapaba para a respectiva rede de drenagem. Em comum para ambos está o trabalho dos rios na modelagem das morfoestruturas: superfícies de aplainamento, a Ibiapaba (enquanto topo/linha de cimeira, reverso e seu contato em glint com a superfície sertaneja), maciços e inselbergues.

O trabalho erosivo dessas feições pela rede de drenagem se deu desde a morfogênese dessas formas e começou a se estabelecer nos moldes verificados atualmente desde o final da abertura oceânica e o final do soerguimento da Ibiapaba, quando as bacias ganharam as atuais estruturas, cujo potencial erosivo foi fomentado significativamente nos períodos paleoclimáticos de maior umidade.

Numa escala de análise mais ampliada, a Ibiapaba apresenta uma rede fluvial diversificada, com rios de diversos portes e vazões que mudam ao longo do ano, proporcionando a modelagem de vales menores nos setores mais elevados (Figura 9), em função da maior resistência litológica dos arenitos do Grupo Serra Grande, responsáveis, inclusive, pela sustentação altimétrica do topo ao processo de recuo erosivo da escarpa; e de maior porte no sopé da serra (Figura 10), ao dissecar

setores litológicos menos resistentes, em meio à superfície sertaneja, alargando seu leito no processo de erosão lateral, mesmo em meio à afloramentos de rochas.



Figura 9: Vale estreito de riacho no topo da Ibiapaba. **Fonte:** Moura-Fé (2015).



Figura 10: Vale largo do rio das Minas. **Fonte:** Moura-Fé (2015).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os princípios teórico-metodológicos presentes na teoria da Etchplanação apresentam-se significativamente aplicáveis ao estudo evolutivos dos relevos que compõem as paisagens tropicais

brasileiras, inclusive aquelas presentes no semiárido da região Nordeste do país, mais precisamente, das serras úmidas, onde o intemperismo químico apresenta maior influência.

Ao tratar de forma integrada os processos associados à esculturação das feições morfológicas (morfogênese) e os processos de gênese e evolução das diversas classes de solo (pedogênese), a etchplanação permite uma abordagem evolutiva que considera setores mais estáveis em conjunto com setores de maior dinâmica natural.

Sendo assim, além de aprofundar as relações de causa e efeito na dinâmica das paisagens, esta teoria, associada obviamente a um conjunto de técnicas de pesquisa, permite a posterior inclusão dos processos socioeconômicos na análise, seja como instrumentos indutores, seja como reflexos os processos naturais de evolução.

Portanto, acredita-se que, para além da contribuição para os estudos relativos à evolução geomorfológica da Ibiapaba, aqui, também, possamos apresentar um campo analítico que pode ser desenvolvido em outras regiões do estado do Ceará e do Nordeste do Brasil.

5. REFERÊNCIAS

ADAMS, G. (ed.) **Planation Surface**. Benchmark Papers in Geology, v. 22, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson and Ross, 1975.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. Análise geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP. **Sociedade & Natureza**, v. 19, n. 2, p. 123-138, 2007.

ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off **Northeastern Brazil**. *Quaternary Research*, v. 50, p. 157-166, 1998.

_____. Climatic changes during the last deglaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian Continental Margin. **Geo-Marine Letters**, n. 19, p. 209-218, 1999.

ÁTILA, F. F.; CARVALHO, V. L. M. Morfogênese, pedogênese e etchplanação: análise integrada dos aspectos geoquímicos, mineralógicos e micromorfológicos dos solos de uma topossequência na depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 223-233, 2012.

AULER, A. S.; SMART, P. L. Late Quaternary paleoclimate in semiarid Northeastern Brazil from U-Series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, v. 55, p. 159-167, 2001.

BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C.; LIMA, L. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Síntese dos cenários paleobioclimáticos do Quaternário Tardio em Minas Gerais / Sudeste do Brasil. **Sociedade & Natureza – UFU**, v. 23, n. 3, p. 371-386, 2011.

BASTOS, F. H. **Movimentos de massa no Maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental.** Folhas? Tese de Doutorado apresentado ao PPGG da UFC Fortaleza: UFC, 2012.

BEHLING, H.; ARZ, H. W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. Late quaternary vegetational and climate dynamics in Northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, n. 19, p. 981-994, 2000.

BÉTARD, F. PEULVAST, J-P. Evolução morfoestrutural e morfo-pedológica do maciço de Baturité e de seu piemont: do Cretáceo ao presente. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais.** Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011.

BÜDEL, J. **Climatic Geomorphology.** Princeton: Princeton Univ. Press. 1982, 443p.

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J-P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007.

_____. Geomorfologia da zona costeira do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: SILVA, J. B. et al. (Org.). **Litoral e Sertão.** Natureza e Sociedade no Nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas** (Boletim Técnico), v. 1, n. 2. Belo Horizonte: Deflor Bioengenharia, 2006. 22 p.
CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do estado do Ceará.** Escala 1:500.000. CD-ROM, 2003.

DIKAU, R. Mass movement. In: GOUDIE, A. S. (Ed.). **Encyclopedia of Geomorphology.** London: International Association of Geomorphologists/ London & New York: Routledge, 2004, p. 644-652..

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p.??

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2003, p.?? -??.

MOURA-FÉ, M. M. **Evolução geomorfológica da Ibiapaba setentrional, Ceará: Gênese, modelagem e conservação.** Tese de Doutorado apresentado ao PPGG da UFC, Fortaleza-CE2015..

NOVO, E. M. L. M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

QUEIROZ NETO, J. P. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 15-24, 2011.

_____. Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, p. 59-67, 2000.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e processos aluviais. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

TRICÁRT, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica (Campinas-SP)**, Tradução: A. Christofolletti, n. 8, p. 5-18, 1968.

TWIDALE, C. R. The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea. **Earth-Science Reviews**, v. 57, p. 37-74, 2002.

VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Revista Terra Livre**, n. 16, p. 11-24, 2001.

WANG, X.; AULER, A. S.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; CRISTALLI, P. S.; SMART, P. L.; RICHARDS, D. A.; SHEN, C.C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature (Letters)**, v. 432, p. 740-743, 2004.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa uma parte da tese de doutorado defendida pelo autor junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (PPGG-UFC), sob orientação do Prof. Dr. Jean-Pierre Peulvast, com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), através da concessão da bolsa de estudo. A todos quero agradecer.

Recebido em: 10/05/2017

Aceito para publicação em: 03/06/2017