

Antropogênese e Morfogênese sob a ação de eventos climáticos de alta magnitude no semi-árido pernambucano: o caso da micro-bacia do riacho Salgado¹

Antonio Carlos de Barros Corrêa

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Geográficas, UFPE

(dbiase2001@terra.com.br)

Resumo

Uma proposta de análise em escala de detalhe da morfologia de um sistema de drenagem intermitente e seus depósitos como resposta a um evento climático de alta magnitude, modulado pelas formas de uso da terra, foi aplicada a uma micro-bacia semi-árida do Nordeste do Brasil. A pesquisa teve por base o levantamento detalhado em campo das feições fluviais, associada ao tratamento digital dos dados espaciais e climáticos em gabinete, que permitiram a compartimentação do canal em três setores: confinado, semi-confinado e não confinado, os quais revelaram uma conexão estreita entre a relação do plaino aluvial e suas margens confinantes com o tipo de processo funcional desencadeado a partir do último *input* climático de máxima energia, catalisado pelos padrões vigentes de uso da terra. Os resultados apontaram para que na escala da micro-bacia estudada todos os barramentos fluviais foram rompidos e novos patamares de equilíbrio entre formas erosivas e deposicionais encontram-se em ajuste passados mais de quatro anos do evento desencadeador de magnitude regional. No entanto, a análise climática ainda permitiu constatar que a circunscrição espacial dos aportes climáticos no contexto semi-árido estudado não permite definir modelos robustos para a previsão de cenários sinóticos em outros contextos fluviais acometidos pelo mesmo tipo de perturbação atmosférica, ainda que as respostas morfológicas encontradas devam ser bastante semelhantes.

Palavras-chave: geomorfologia de ambientes semi-áridos, mapeamento geomorfológico de detalhe, dinâmica geomorfológica.

¹ Resultado parciais de pesquisa realizada no âmbito do Laboratório de Geografia Física Aplicada da UFPE como parte do Projeto acadêmico financiado pelo convênio **BNB/ETENE/FUNDECI n. 932 (Extrato publicado no DOU de: 20/08/2007, Seção 03, Página 57)** Coordenação: Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa.

Abstract

A proposal aimed at the micro-scale analysis of an intermittent drainage system and its sedimentary deposits was put forward. The research focused on fluvial sedimentation as a response to high magnitude climatic events modulated by land use patterns within a small watershed of the semi-arid Northeast of Brazil. The study was conducted based on the detailed field surveying of fluvial landforms, coupled with the digital processing of spatial and climatic data, these procedures favored the subdivision of the fluvial channel into three distinct sectors: confined, semi-confined and unconfined. These patterns displayed a close connection between the fluvial plain and its confining margins with the surface processes triggered by the last high energy climatic input in the area, catalyzed by the current land use patterns. Results pointed to that within the studied watershed all fluvial dams were broken and new equilibrium thresholds between erosive and depositional forms are still seeking for adjustment four years after the onset of the high magnitude regional event. However, climatic analysis led to the understanding that due to its spatial circumscription, climatic inputs within the studied semi-arid context prevent the definition of robust synoptic models applied to other fluvial settings affected by the same types of atmospheric disturbance, in spite of the morphological responses being rather similar.

Keywords: geomorphology of semi-arid environments, detailed geomorphological mapping, geomorphological dynamics.

Introdução: o homem e o sistema de paisagens semi-árido

Tratar do papel do homem como agente da morfogênese no contexto semi-árido do Nordeste do Brasil implica em levar em conta, sob a luz de múltiplas escalas de análise espaço-temporal, o somatório das pressões exercidas pelos fenômenos climáticos cíclicos, que incidem diretamente sobre os complexos biogeográficos das caatingas, acrescidos dos impactos causados sobre a produção agrícola. Assim, pode-se falar de um “risco climático” (Cambrézy & Janin, 2007) sobre os agroecossistemas do semi-árido, onde todas as variáveis envolvidas nos processos de alteração morfogenética dependem em maior ou menor grau do “impacto humano”.

É certo que o incremento dos riscos geomorfológicos derivados da ação dos processos de superfície terrestre no semi-árido brasileiro derivam da combinação entre fenômenos naturais, por vezes arrítmicos, e a história do uso de terra e de ocupação do território na região. Assim, como sugerem Veyret & Richemond (2007), os riscos advindos das secas e chuvas concentradas recorrentes, que acometem o semi-árido em intervalos regulares, são antes de tudo sociais, já

que denotam a fragilidade da teia de suporte econômico, político e social em absorve-lo, mas não deixa de possuir um fator desencadeador nitidamente físico-natural inerente à processualidade climática do próprio geossistema em questão.

Assim, parece que o cerne da questão reside em separar o que de fato é inerente à processualidade morfoclimática peculiar ao regime semi-árido Brasileiro, e o que é resultado dos *inputs* antropogênicos. No entanto, como o objeto de atuação da geomorfologia, a paisagem, é um dado agregado, onde os níveis categóricos de estruturação espacial encontram-se entrelaçados, imbrincados uns sobre os outros, e trocando energia mutuamente entre si, gerando unidades espaciais processualmente solidárias e indivisíveis, talvez a necessidade de separar as respostas geomórficas seja anacrônica teoricamente dentro da seara da geomorfologia dinâmica, ou mesmo infactível do ponto de vista metodológico. No entanto, no caso de uma sociedade agrária tradicional, altamente dependente dos insumos climáticos para a sua reprodução social e econômica – haja visto que os espaços dedicados às culturas irrigadas comerciais com grande aporte tecnológico ainda são restritos no contexto regional – a susceptibilidade das formas de uso e ocupação da terra às “pulsões” do regime climático semi-árido resultam em impactos e transformações dos suportes geomorfológicos de magnitude e geometrias mensuráveis, ainda que indissociáveis das respostas meramente decorrentes da ação dos processos físico-naturais.

Dentro desta ótica, o novo cerne da questão reside em o que aferir como resposta às adições de energia ao sistema geomorfológico modulado pelo uso da terra, e como aferir. As evidências qualitativas se manifestam prontamente sob a forma de respostas erosivas nítida, dependentes das coberturas pedológicas afetadas, aspectos morfométricos do terreno, densidade da cobertura vegetal, etc. No entanto, as formas processuais derivadas da deposição acabam por guardar com maior eficácia os saldos dos processos erosivos, o que converte as bacias de drenagem intermitentes em verdadeiros geocronômetros da história do uso e ocupação do território e da recursividade dos fenômenos climáticos desencadeadores de mudanças nas taxas da morfogênese. Assim, não se trata mais de separar os produtos da morfodinâmica da paisagem (formas erosivas e sedimentos), em categoria estanques de natural e antropogênico, mas reconstruir o histórico de sua elaboração sinérgica.

A temporalidade dos processos climáticos está gravada nos depósitos fluviais do semi-árido nordestino de forma diversa, assim como sua interação com as populações humanas. As raras e estreitas planícies fluviais, como a do rio Carnaúba, sertão do Seridó do Rio Grande do Norte, registram uma história de deposição sedimentar que remonta ao último máximo glacial, com evidências da ocupação humana associada à deposição de sedimentos finos – possível sistema flúvio-lacustre – desde o limiar Pleistoceno-Holoceno até os momentos de máxima

reumidificação do Holoceno médio (Mutzenberg, 2007). Neste caso é nítida a interação entre a evidência arqueológica com os controles climáticos regionais, reproduzidos na paisagem a partir da atuação cíclica das flutuações e pulsações climáticas desde o UMG. No entanto, a escala das planícies aluviais na maior parte das vezes não permite um refinamento das observações das interações homem-paisagem, além da deposição do terraço mais baixo. No caso do Carnaúba, por exemplo, o registro termina no Holoceno médio, após o qual a drenagem encontra-se entrincheirada em seus próprios sedimentos, estando portanto os registros paleo-climáticos e antropogênicos restritos à sedimentação dentro do próprio leito.

Desta forma, ao se trabalhar com as pequenas bacias desprovidas de planícies aluviais, mas dotadas do tradicional plaino aluvial onde a sedimentação do leito e das enchentes eventuais se confundem no mesmo e indiviso depósito, ladeado por rampas pedimentares, geralmente expondo os afloramentos rochosos e a delgada cobertura de solos semi-áridos, as respostas para as indagações relativas à história de transformação da terra sob as ações humanas estão no próprio plaino aluvial e seu registro sedimentar peculiar.

Mudanças induzidas pelo homem em bacias de drenagem semi-áridas

A dinâmica é uma propriedade inerente a todo compartimento geomorfológico, sobretudo se analisado mediante a perspectiva geossistêmica. No entanto, as mudanças decorrentes do impacto das ações humanas, deliberadas ou não, são estranhas aos sistemas fluviais, alterando a distribuição espacial e temporal de suas formas e processos (Brierley & Fryirs, 2006).

Provavelmente desde a transição Pleistoceno-Holoceno, novamente com mais ênfase no Holoceno médio, e por fim continuamente desde o estabelecimento da colonização portuguesa no semi-árido brasileiro, as modificações decorrentes do impacto humano têm sido uma forma dominante de perturbação sobre as micro-bacias fluviais, talvez exercendo uma influência tão importante quanto os ajustes derivados pelas mudanças climáticas, ou mesmo catalisando os processos de superfície terrestre quando da ocorrência dos eventos naturais extremos, de alta magnitude e baixa recorrência.

As ações antrópicas sobre os sistemas fluviais do semi-árido podem ter sido intencionais ou indiretas, na sua origem. As ações diretas sobre os canais visam sobretudo controlar e estabilizar o suprimento d'água, e em alguns casos minimizar os efeitos danosos das enchentes. No entanto, as mudanças indiretas, normalmente ocorridas ao longo dos interflúvios e pedimentos, trazem respostas tão importantes à dinâmica fluvial quanto o represamento direto e o tratamento da vegetação ripariana nas margens, sobretudo interferindo sobre o fluxo de

sedimento para as bacias e o incremento das feições derivadas da erosão, tanto da ação do fluxo hortoniano não canalizado, quanto da erosão linear.

Se consideramos como área típica de referência as micro-bacias situadas sobre o estruturas pré-cambrianas de litologia metamórfica, metassedimentar ou ígnea, a ocorrência de impactos inadvertidos sobre a dinâmica fluvial deve-se sobremaneira às mudanças na cobertura superficial e nas práticas agrícolas, como por exemplo a conversão da caatinga em pastagem com a introdução de gramíneas exóticas.

Brierley & Fryirs (2006) consideram que os impactos indiretos sobre as bacias de drenagem a primeira vista podem parecer menos drásticos do que as respostas às ações diretas, como o barramento do canal, no entanto seus efeitos são mais ubíquos e espacialmente alastrados, com impactos por vezes retardados e com alcance que extrapola o entorno imediato da área diretamente afetada. Os autores alertam para as dificuldades em se diferenciar as respostas fluviais às intervenções humanas diretas na escala dos segmentos fluviais dos impactos indiretos na escala da bacia.

Provavelmente uma combinação de fatores antrópicos e naturais, como as mudanças climáticas, o sobre-pastoreio, desmatamento, e mesmo o cruzamento de patamares erosivos intrínsecos podem estar tradicionalmente relacionados à retomada da erosão nas micro-bacias semi-áridas no Nordeste. No entanto outras atividades como construção de estradas, retificação de canais, aterros para obras ferroviárias, resultam em impactos tão agressivos quanto as práticas tradicionais de uso da terra. No entanto, um dos maiores óbices à verificação destes controles é a falta de trabalhos que correlacionem dados de climatologia histórica, ou mesmo de outras fontes (arqueologia, geomorfologia, palinologia etc.) com o desencadeamento dos episódios de retomada erosiva nas bacias. Trabalhos com este enfoque permitem traçar liames concretos entre eventos climáticos de alta magnitude, com as respostas geomórficas nos canais e interflúvios, mediante a interveniência de tipos variados de ocupação e dinâmica de uso da terra (Bailing & Wells, 1990).

O represamento é a forma de intervenção direta mais comum nos canais semi-áridos, destinado ao suprimento d'água para a agricultura e consumo humano. Além de conter temporariamente o fluxo longitudinal dos rios, as represas atuam como importantes reservatórios de sedimentos e além de fornecer tanto níveis de base locais quanto knick-points de curta duração e estabilidade dentro da dinâmica geomorfológica da bacia.

Em geral as represas atuam como eficientes armadilhas de sedimentos, criando zonas de acumulação que agregam praticamente toda a carga de fundo e parte da carga suspensa do rio. A jusante das barragens, normalmente construída de forma rústica a partir da adição de blocos

rochosos e aterros não consolidados, o knick-point criado pelo paredão contribui para o aumento da energia potencial dos fluxos, além de que a corrente desprovida de carga em suspensão promove o entrincheiramento do canal em frente ao barramento. O aprofundamento do canal, por vezes atinge soleiras rochosas e isola a vegetação ripariana acima da linha de fluxo máximo. O solapamento das margens também contribui para a redução da vegetação ciliar e em estágios mais adiantados de reorganização espacial das feições geomórficas, a redução do anteparo fornecido pela vegetação colabora para o avanço da erosão linear nas margens, sobretudo quando sobre essas afloram planossolos com severos gradientes texturais. Para além da área erodida, ocorre a deposição de novas barras laterais arenosas, estreitando a largura original do canal.

As visões teóricas e modelísticas sobre os rios e seus processos evoluíram a partir do estudo de áreas úmidas, desta forma as previsões para cenários futuros no Nordeste semi-árido devem ser pensadas de acordo com a peculiaridade dos rios desta região. Neste caso as paisagens fluviais e seu entorno são movidas por processos hidrológicos eventuais, com mudanças rápidas ocorrendo ao longo de curtos períodos de tempo, seguidos por períodos de relaxamento do sistema nos quais poucas mudanças geomórficas ocorrem. No entanto as respostas dos geossistemas fluviais aos inputs advindos dos eventos climáticos são melhor conhecidos em climas úmidos. As enchentes, por exemplo, são importantes desencadeadores de mudanças, mas há uma diferença intrínseca entre as enchentes, que depende essencialmente do contexto semi-árido considerado, como no caso em questão as micro-bacias sobre litologias cristalinas ou sobre bacias sedimentares, controladas por chuvas convectivas de verão ou perturbações frontais. No leste úmido dos Estados Unidos, por exemplo, as enchentes seculares são cerca de cinco vezes maiores que a cheia anual, enquanto que no sudoeste semi-árido daquele país a cheia secular pode ser até 50 vezes mais intensa que a cheia anual (Graf, 2005). Desta forma pode-se perceber que o efeito das represas sobre as calhas das drenagens não é o mesmo entre áreas úmidas e secas, sendo que os efeitos da contenção artificial das águas é muito mais severo em sobre a dinâmica de rios semi-áridos, fato facilmente constatado ao se verificar que a totalidade das barragens de uma micro-bacia como a do riacho Salgado, Sertão do São Francisco do Estado de Pernambuco, estarem rompidas como resposta às enchentes decenais.

Os casos mais extremos de desconectividade geomorfológica ocorrem nos rios de maior ordem dentro do sistema de drenagem do semi-árido nordestino, como o rio Pajeú do qual o riacho Salgado é tributário de primeira ordem. A completa apropriação do fluxo da água tanto pela intercepção em represas quanto pela retirada da água diretamente da zona ripariana cria cenários de instabilidade geomorfológica, seja pela construção de níveis de base artificiais sujeitos a intensa sedimentação ou pelo entrincheiramento do canal que resulta na perda da vegetação ciliar, e logo do anteparo natural das margens à ação da erosão linear.

Área de Estudo

A área escolhida para a realização do levantamento detalhado dos estilos fluviais sujeitos à ação da morfogênese antrópica foi a micro-bacia do riacho Salgado, que se localiza no Município de Belém do São Francisco, Mesorregião do São Francisco, Microrregião de Itaparica, Pernambuco.

A micro-bacia em tela está totalmente localizada no setor da Depressão Sertaneja pernambucana que contorna a calha do rio São Francisco, com altitudes variando entre 300 e 380 metros. Geologicamente a bacia se estrutura em rochas mesoproterozóicas da Província da Borborema, localmente representadas pelos litotipos metamorfizados dos complexos Belém do São Francisco, Cabrobó, Floresta e Sertânia e Metagranitóides (CPRM, 2005). A morfologia da micro-bacia é marcada pela presença de patamares interfluviais parcialmente conservados, mas em grande parte está submetida a um princípio de dissecação comandada pelo nível de base regional, a calha do próprio rio São Francisco.

O clima regional é semi-árido quente, com temperatura média anual de 26^oC e precipitação anual média de 470mm, sendo fevereiro e março os meses mais chuvosos. A micro-bacia em questão insere-se na bacia hidrográfica do rio Pajeú, tributário da margem esquerda do rio São Francisco em seu curso sub-médio. O padrão de drenagem da micro-bacia é dendrítico e todos os cursos são intermitentes. A vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta. A bacia do riacho Salgado está localizada entre as coordenadas geográficas 8° 32'00''S e 8° 35'00''S e 38° 48'00''W e 38° 52'00''W (Figura 1).

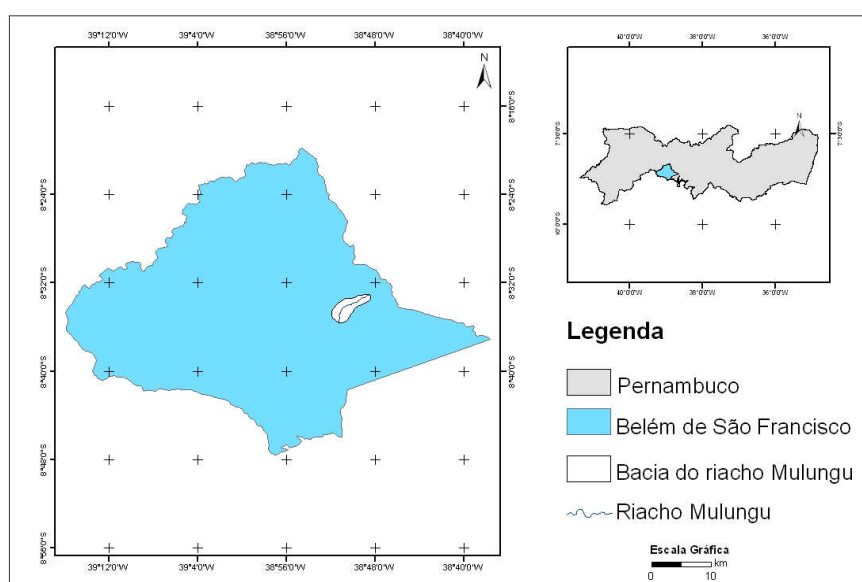


Figura 1 - Mapa de localização da bacia do riacho Salgado, no município de Belém de São Francisco – PE.

A cobertura pedológica observada ao longo do canal do riacho Salgado se adequa às principais classes de solos identificadas para a área pelo levantamento de média escala de solos do Estado de Pernambuco (ZAPE, 2001). Observa-se que há uma estreita relação entre as principais classes de solos e a susceptibilidade à erosão ao longo do canal, sendo os planossolos com acúmulo de sais em sub-superfície a classe mais afetada pela erosão linear. Em termos de uma topossequência partindo-se do contato entre o plano fluvial e as margens dissecadas dos pedimentos interfluviais tem-se normalmente uma seqüência de planossolos nas baixadas, luvissolos crônicos nas rampas, e neossolos litólicos e afloramentos de rocha no topo dos patamares interfluviais.

Procedimentos metodológicos

Crescentemente os estudos de geomorfologia dinâmica e reconstrução da dinâmica geomorfológica frente à ação antrópica têm se voltado para a aplicação de referenciais teóricos que postulam a ocorrência intermitente e espasmódica de eventos desestabilizadores das unidades de paisagem, cuja recursividade pode ser recuperada apenas mediante o uso de uma abordagem escalar adequada (Conti, 2001; Brunsten, 2001; Corrêa, 2006). Escalas distintas de conectividade entre os elementos da paisagem física afetam a forma pela qual as respostas às perturbações são transmitidas nas bacias hidrográficas e, portanto, são considerações importantes quando se busca compreender a resposta dos sistemas de paisagens aos eventos climáticos perturbadores da estabilidade, modulados pelas ações antrópicas. O registro temporal de curto, médio ou longo prazo às perturbações externas em bacias fluviais, sejam estas de ordem climática, tectônica ou antropogênica, é preferencialmente avaliado a partir da investigação dos depósitos que se acumulam a jusante das áreas perturbadas.

A análise de diversas formas de conectividade entre os elementos da paisagem são de grande valia para a compreensão das respostas geomorfológicas às perturbações antropogênicas catalisadas pelos eventos climáticos extremos. No caso das pequenas bacias sobre litologias ígneas e metamórficas pré-cambrianas do semi-árido nordestino a ocupação humana, baseada em práticas agrícolas tradicionais (pecuária bovina e caprina extensiva e culturas subsistência), está centrada ao longo dos canais. Desta forma, as áreas imediatamente adjacentes aos canais são focos imediatos para a irradiação dos eventos de perturbação no sistema geomórfico, o que resulta no acúmulo local e imediato de sedimentos no leito e mudança nos arranjos espaciais das formas fluviais

As características intrínsecas dos depósitos fluviais climato-sensíveis e sua vizinhança aos processos de retrabalhamento garantem que essas áreas são particularmente interessantes à investigação da processualidade geomorfológica. Não obstante, é visível que mesmo em pequenas bacias, como a do riacho Salgado, as respostas geomorfológicas variam significativamente em resposta às condições ambientais inerentes a cada setor do canal e dos interflúvios. No caso dos compartimentos pouco dissecados, das depressões semi-áridas do Nordeste, este quadro se agrava ainda mais, favorecendo uma forte desconectividade entre os processos ocorrentes no leito e sobre as áreas interfluviais, onde domina a morfologia das rampas pedimentares. Nestes casos, as respostas deposicionais condicionadas pela ação antrópica estão diretamente vinculadas às modalidades de uso da terra imediatamente contíguas ao leito fluvial.

Diante do exposto, a perspectiva metodológica que norteia este estudo é a de que cada bacia hidrográfica é caracterizada por um conjunto próprio de atributos, analisados em termos da planta do canal, unidades geomórficas que compõem a bacia, e características dos sedimentos do leito (Brierley & Fryirs, 2005). A identificação e interpretação das unidades geomórficas possibilita a interpretação dos processos que refletem a dimensão do comportamento dos estilos fluviais. Desta forma os estilos fluviais e seus padrões são avaliados em relação ao contexto paisagístico e às ligações espaciais e temporais dos seus processos geomorfológicos. De uma forma sintética, a proposta teórica dos estilos fluviais registra o caráter e comportamento de um rio, oferecendo uma avaliação geomórfica dos seus padrões espaço-temporais, a partir de uma análise focada na micro-bacia. Em virtude da escala de análise, faz-se necessário incorporar as unidades morfológicas de erosão e agradação decorrentes da antropogênese, ainda que esta seja desencadeada por eventos de ordem natural, como as precipitações extremamente concentradas do semi-árido Nordeste. No caso em tela, o estudo possibilitou avaliar qualitativamente as alterações decorrentes do *input* climático mais agressivo a atingir o *core* semi-árido nordestino nas últimas décadas; as chuvas de janeiro de 2004, decorrentes da prolongada presença da ZCAS (Zona da Convergência do Atlântico Sul) sobre o centro-norte da região.

A análise das relações espaciais dos compartimentos de paisagem, e de seus padrões de interconectividade fornecem uma base sobre a qual é possível interpretar a operação dos processos geomorfológicos em ação num determinado nível de resolução geossistêmica. Respostas geomórficas retardadas e fora de sintonia com o contexto ambiental podem ocorrer dentro de cada bacia, refletindo o padrão e o grau de estabilidade morfodinâmica dos compartimentos de paisagem. No caso de sistemas fluviais, as interações longitudinais, laterais e

verticais refletem a operação de distintos processos ocorrendo em várias posições dentro da bacia (Brierley & Fryirs, 2005).

As ligações laterais incluem as interações entre as encostas e o canal e entre o canal e a planície aluvial, e estas respondem pelo suprimento de materiais à rede de canais. As ligações longitudinais, entre montante e jusante, e entre os canais tributários e o coletor principal, regem a transferência de fluxo pelo sistema e a capacidade dos canais em transferir ou acumular sedimentos de diversos calibres sobre o assoalho do vale. As ligações verticais referem-se às interações superfície/sub-superfície entre a água e os sedimentos e solos residuais, diretamente envolvidos no tipo de pedogênese predominante na área de estudo.

Para realização do trabalho foram realizadas duas campanhas de campo, de uma semana de duração cada, durante as quais foi possível percorrer toda a extensão do canal principal do riacho Salgado. O intuito da fase de coleta de dados em campo foi o de identificar as principais respostas do sistema fluvial ao evento climático recente de maior magnitude na área (janeiro de 2004) e mapear as formas de relevo resultantes de sua atuação, de forma a reproduzir da maneira mais fidedigna as relações geométricas de cada setor da bacia mediante a distribuição espacial dos corpos deposicionais e seus processos formativos. Para fins de obtenção dos dados que possibilitaram o mapeamento de detalhe foram utilizados receptores de GPS de mapeamento com precisão superior a 3m, clinômetro digital, trena digital para a medição dos perfis e formas fluviais associadas, máquina fotográfica digital georreferenciada, altímetro digital de precisão.

Para a confecção dos mapas em gabinete a bacia do riacho Salgado foi identificada através de uma base digital de rios cedida pela CPRM, digitalizado da folha Floresta – MI1442 da SUDENE, na escala de 1: 100.000. As informações morfométricas utilizadas para a confecção de um MDT (Modelo Digital de Terreno) foram obtidas a partir dos dados de acesso livre disponibilizados pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Essas foram ainda enriquecidas pelo tratamento digital dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas mais recentes disponíveis para a área; sobrevôo de dezembro de 1997. A partir destas informações foi possível extrair a área da bacia do riacho Salgado, bem como realizar o mapeamento geomorfológico em diversas escalas de detalhe, utilizando ferramentas do ArcToolBox do software ArcGIS 9.2. Os dados de precipitação diária foram obtidos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), referentes ao período 2004/2007, para os situados no entorno imediato da micro-bacia: Belém do São Francisco, Cabrobó, Floresta e Ibimirim. Dados de campo e gabinete sobre a dinâmica fluvial (ruptura de barragens, formação de redes de ravinas, concentração de cascalheiras superficiais) foram confrontados com as informações obtidas junto à comunidade local.

A partir dos dados coletados em campo e tratados em gabinete em bases digitais foram postulados modelos de padrões fluviais para os setores confinados e semi-confinados do canal, considerando-se o terceiro tipo, o não-confinado, como uma variação local do padrão semi-confinado. Os principais elementos considerados para a análise da dinâmica geomorfológica foram as características morfológicas e morfométricas do canal e seus interflúvios, deposicionais, sedimentológicas e fitofisionômicas da bacia. O comportamento processual e possíveis controles sobre a dinâmica fluvial, além da descrição das formas, foram interpretados a partir dos controles de intervenção antrópica com reverberações sobre a morfologia da bacia, como resposta a um *input* atmosférico de grande magnitude. Ressalta-se que a micro-bacia em foco integra um setor do sub-médio São Francisco secularmente associado à pecuária extensiva (bovina e caprina). Neste caso a principal interferência antrópica sobre a distribuição de energia no sistema geomorfológico evidencia-se a partir do papel do homem como criador de níveis de base e *knick-points* artificiais. Estes foram de fundamental importância para a compreensão da dinâmica fluvial local, e das disposições morfológicas resultantes.

Hipóteses-guia para verticalizar a abordagem: a ação climática

É sabido que a chuva no semi-árido nordestino é extremamente concentrada no tempo e no espaço. Desta forma, visando uma melhor compreensão dos eventos desencadeadores dos processos geomórficos no âmbito da micro-bacia do riacho Salgado, normatizar as informações climatológicas para a bacia e seu entorno. A maior dificuldade encontrada deve-se ao fato de que os dados integrados para a área remontam apenas ao ano de 2004, perfazendo um total de quatro estações meteorológicas em operação dentro de um raio de 50 quilômetros da bacia estudada. Em todo caso no período de 2004 a 2007 as chuvas mais intensas ocorreram predominantemente no verão (Figura 2). Outro elemento de concentração temporal a ser levado em conta é a participação do evento máximo de precipitação em 24 horas sobre o total mensal de precipitação, que revela que em todos os postos observados para o período em tela, a média se manteve acima de 50%, denotando uma intensa participação de eventos de alta magnitude, em sua maior parte decorrentes da ação de sistemas convectivos de verão, atuante após a longa estação seca sob condições de retração máxima do estrato herbáceo e perda quase total das folhas por árvores e arbustos. (Figura 3).

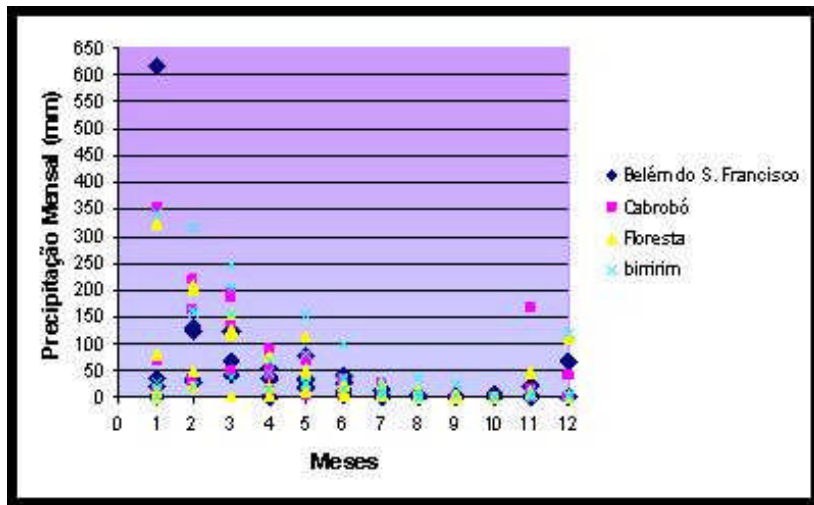


Figura 2 – Distribuição mensal da precipitação em um raio de 50 quilômetros da micro-bacia do riacho Salgado, para o período 2004/2007.

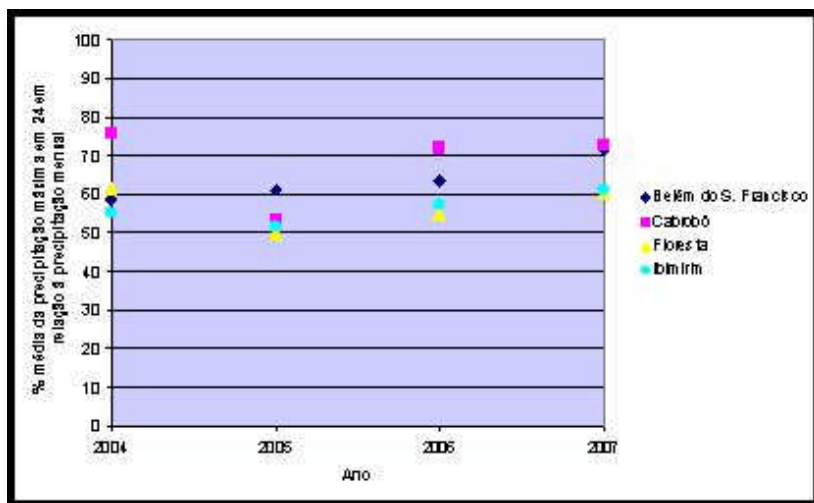


Figura 3 – Participação da precipitação máxima em relação ao total de precipitação mensal média, expressa em % para o período de 2004 a 2007 na área da micro-bacia do riacho Salgado.

O evento máximo de precipitação de expressão regional a atingir a área de estudo, com recursividade de 40 anos, foi registrado em janeiro de 2004, com a presença rara da ZCAS (Zona da Convergência do Atlântico Sul) por mais de duas semanas, registrando totais de precipitação mensais acima de 600 mm. No entanto, apesar da ubiquidade espacial desta perturbação atmosférica, verificou-se uma concentração espacial das chuvas sobre Belém do São Francisco, com um acréscimo dos totais em até 100% em relação ao observado nos demais postos. O resultado dessa concentração sobre os arranjos geomorfológicos da micro-bacia, se expressaram sob a forma de rompimento generalizado dos barramentos artificiais, redistribuição dos sedimentos a jusante, e acelerada erosão laminar nos interflúvios. Desta forma, constatou-se uma dificuldade de estabelecer uma sincronia espaço-temporal dos eventos desencadeadores de processos geomorfológicos, mesmo que sob a atuação de sistemas de circulação de alcance regional (Figuras 4 e 5).

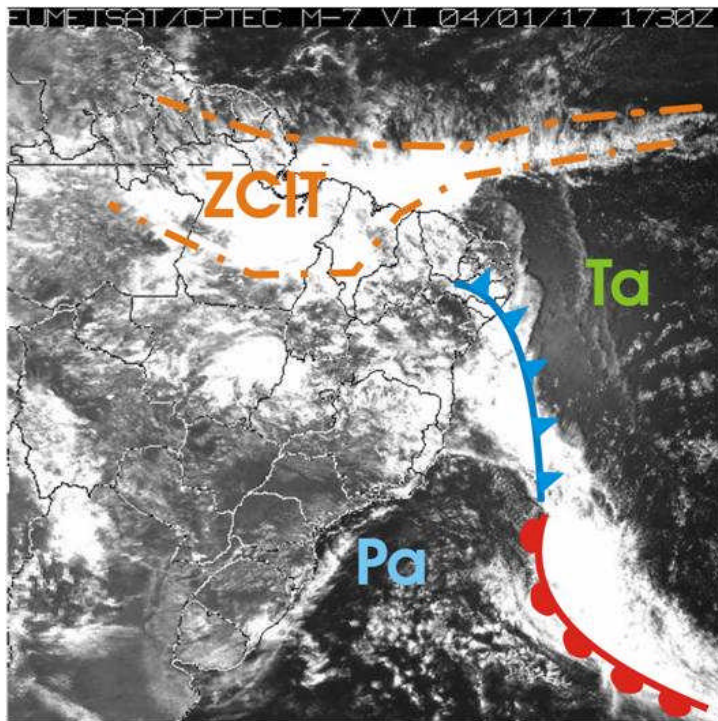


Figura 4 – ZCAS sobre o semi-árido pernambucano em 01/2004 (Modificado do INPE, 2008)

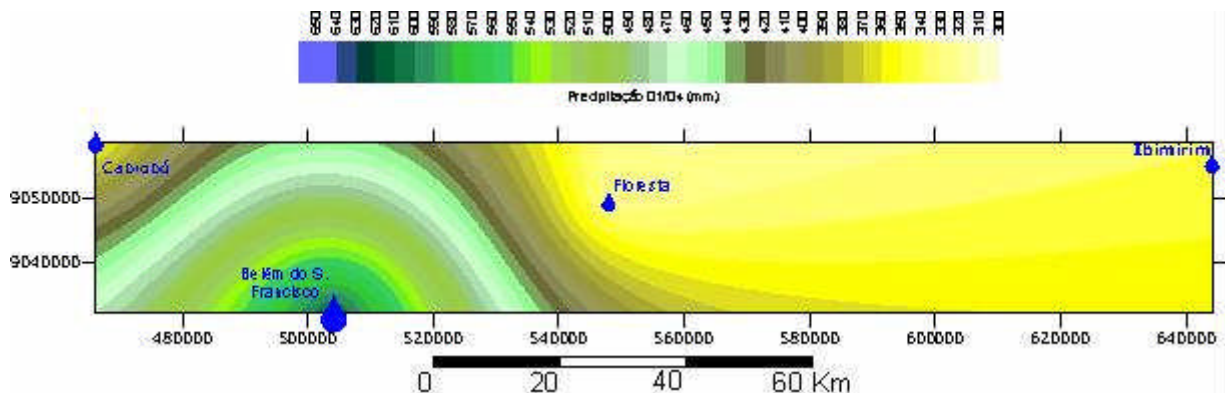


Figura 5 – Distribuição espacial do evento de precipitação de maior magnitude com recursividade de 40 anos na área de estudo (01/2004), evidenciando a concentração das chuvas sobre Belém do São Francisco (Dados INMET, 2008).

A ação da antropogênese sobre a morfologia fluvial

O cruzamento dos dados obtidos nas campanhas de campo com aqueles provenientes do tratamento digital dos dados SRTM e da carta topográfica digitalizada em gabinete permitiram a elaboração de uma mapa geomorfológico de detalhe a 1:25.000. A legenda foi criada a partir de uma adaptação da nomenclatura proposta por Brierley & Fryirs (2005) (Figura 6).

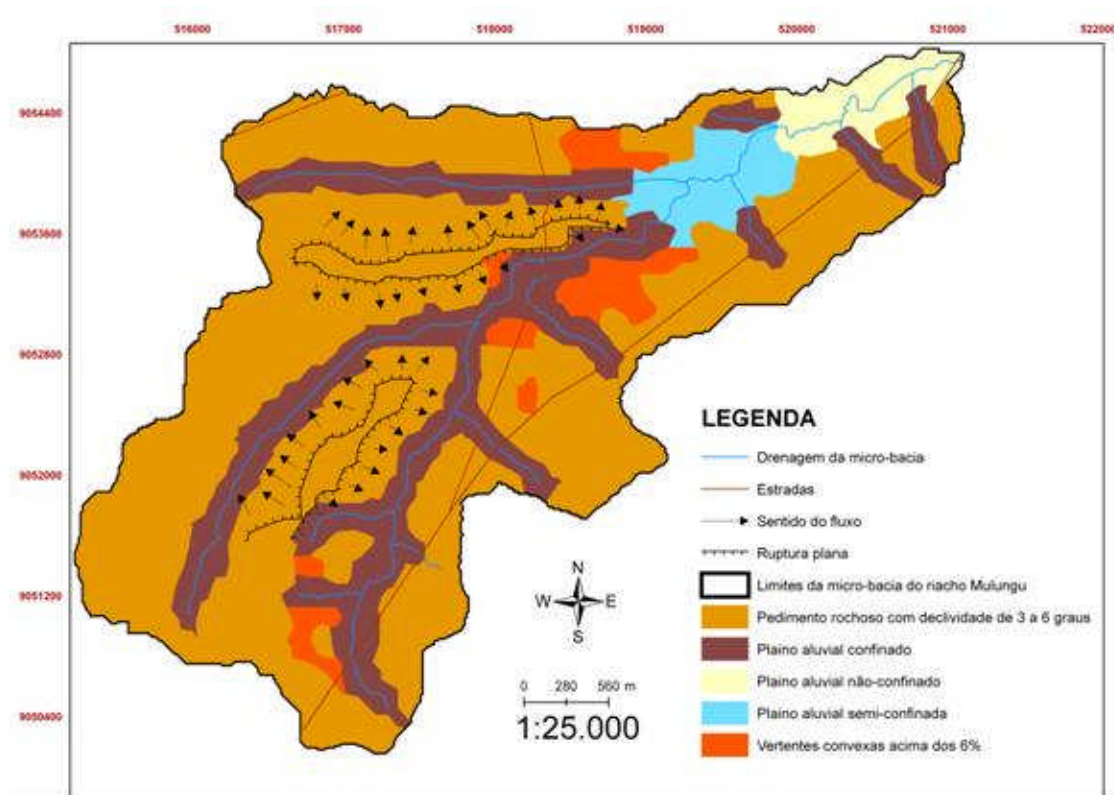


Figura 6 – Mapa geomorfológico de detalhe da bacia do riacho Salgado.

Com base no mapa geomorfológico de detalhe a bacia foi subdividida com base na relação entre o canal e os interflúvios adjacentes, já que no caso do riacho Salgado não se pode definir as relações entre o canal e um “vale” propriamente dito. Igualmente, a calha fluvial foi tomada como plaino aluvial, já que não há uma distinção precisa entre canal e planície; situação morfológica comum nas bacias de menor ordem sob regime semi-árido. A partir da interação entre o plaino fluvial e os interflúvios subdividiu-se a bacia nos seguintes setores: plaino aluvial confinado, semi-confinado e não confinado.

O cruzamento entre o mapa geomorfológico e as informações colhidas em campo permite concluir que a ocupação humana na micro-bacia está diretamente relacionada à sua compartimentação em unidades fluviais funcionais, ora predominantemente erosivas, no trecho onde o plaino aluvial se encontra confinado, ora deposicionais nos curtos trechos finais onde predomina a formação de pequenas planícies “em bolsão” engastadas entre o canal propriamente dito e a base da ruptura de gradiente dos pedimentos rochosos dissecados. Desta forma, os cultivos estão espacialmente restritos às planícies em bolsão dos trechos semi-confinados e não confinados, enquanto a pecuária extensiva predomina sobre o trecho confinado e interflúvios em patamares aplainados.

De acordo com a constatação acima as respostas do sistema geomorfológico aos *inputs* climáticos de janeiro de 2004 foram setorizados em função da forma de uso predominante. No

setor confinado houve um predomínio da erosão linear em ravinas e voçorocas das margens estruturadas em planossolos háplicos, desprovidas de vegetação ripariana nativa, o que atesta a desconectividade neste setor entre o canal e as margens “suspensas”. Além das margens verifica-se a expansão das cascalheiras superficiais como resposta aos fluxos não concentrados.

No setor semi-confinado, dominado pela formação de barras laterais areno-cascalhosas, interrompidas pelo afloramento de soleiras rochosas e níveis encouraçados do leito (cascalheira de leito com cimentação ferruginosa), a principal intervenção são as barragens rústicas, destinadas sobretudo à dessedentação animal. Verificou-se que após o evento de janeiro de 2004 todas as barragens foram rompidas, indistintamente de haverem ou não sido colmatadas além do espaço disponível de acomodação de sedimentos. O resultado morfológico são trechos de canal entrincheirado cortando uma sedimentação antropogênica com estrutural laminada, as vezes com mais de três metros de espessura, que na superfície definem pequenos trechos de terraços em alvéolos limitados lateralmente pela inflexão do pedimento rochoso.

O setor não confinado da bacia é a área onde pratica alguma agricultura de vazante em maior intensidade no âmbito da bacia. A principal resposta geomórfica aos eventos de alta magnitude neste trecho estiveram associadas tanto ao rompimento de barragens provenientes das drenagens laterais, quanto ao aumento da sedimentação arenosa (carga mista) no leito, dando origem a longas barras longitudinais ainda não totalmente colonizadas pela vegetação. Também foi possível constatar o rompimento de antigas barras já estabilizadas acima do nível de vazão das enchente anuais, por novos canais decorrentes da enxurrada de janeiro de 2004. Nos setores terminais da bacia, o entrincheiramento da sedimentação arenosa incoesa expõem inúmeras vezes o pedimento inumado. A desconectividade entre a margem desprotegida de vegetação ciliar e o canal entrincheirado também favorece a formação de ravinas e desabamentos neste setor, além da superfície de contato entre a sedimentação fluvial e o embasamento cristalino que estrutura o pedimento rochoso inumado fornecer um plano de descontinuidade propício à formação de erosão por tubagem (figura 7, 8, 9, 10, 11 e 12).



Figura 7 – Alvéolo de regressão erosiva na margem do riacho Salgado sobre planossolos háplicos; **Figura 8** – Trecho confinado do canal com afloramento de soleira quartzítica.



Figura 9 – barragem de pedras e cerca de galhos rompida; **Figura 10** – cascalheira de leiro “encouraçada” (*armoured*) por cimentação ferruginosa.



Figura 11 – Barragem rompida no setor semi-confinado formando terraço desconectado do leito; **Figura 12** – Subida no nível de base no canal contíguo a uma barra longitudinal cascalhosa a montante do barramento..

As ilustrações a seguir oferecem uma visão em detalhe aspectos do trecho confinado (Figura 13) e semi-confinado (Figura 14) do riacho Salgado. De fato, o trecho não confinado só se diferencia do trecho semi-confinado por apresentar uma sobreposição lateral (*overlapping*) da sedimentação do plaino aluvial do riacho Salgado, com a sedimentação proveniente da drenagem adjacente a norte, que localmente inuma a superfície rochosa do pedimento. Os estilos morfológicos retratados estão fortemente condicionados pelos padrões de uso e ocupação da micro-bacia, enquanto que a dinâmica sedimentar, que define a posição atual das barras longitudinais e laterais do leito, e as cicatrizes erosivas aparecem como respostas ao evento de grande magnitude de precipitação de janeiro de 2004. O que permitiu definir que desde então os (re)arranjos morfológicos no canal tem sido mínimos.

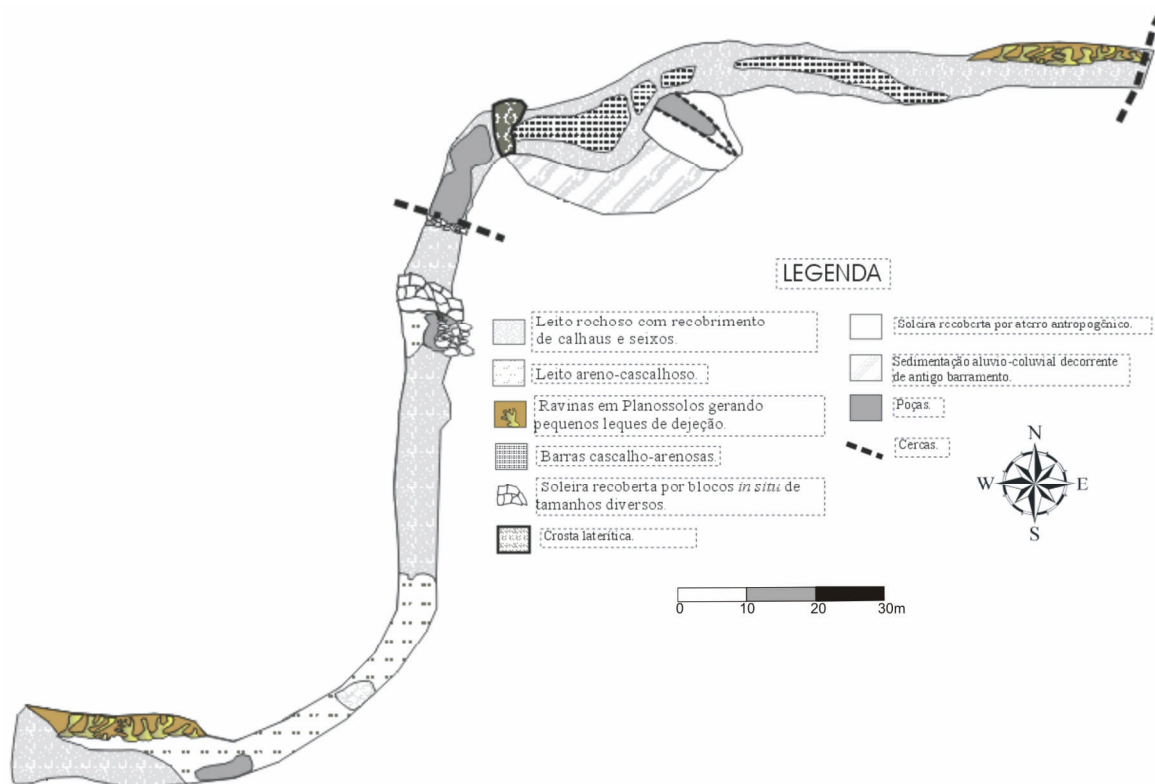


Figura 13 – Exemplo de trecho confinado do riacho Salgado com seus respectivos estilos fluviais.

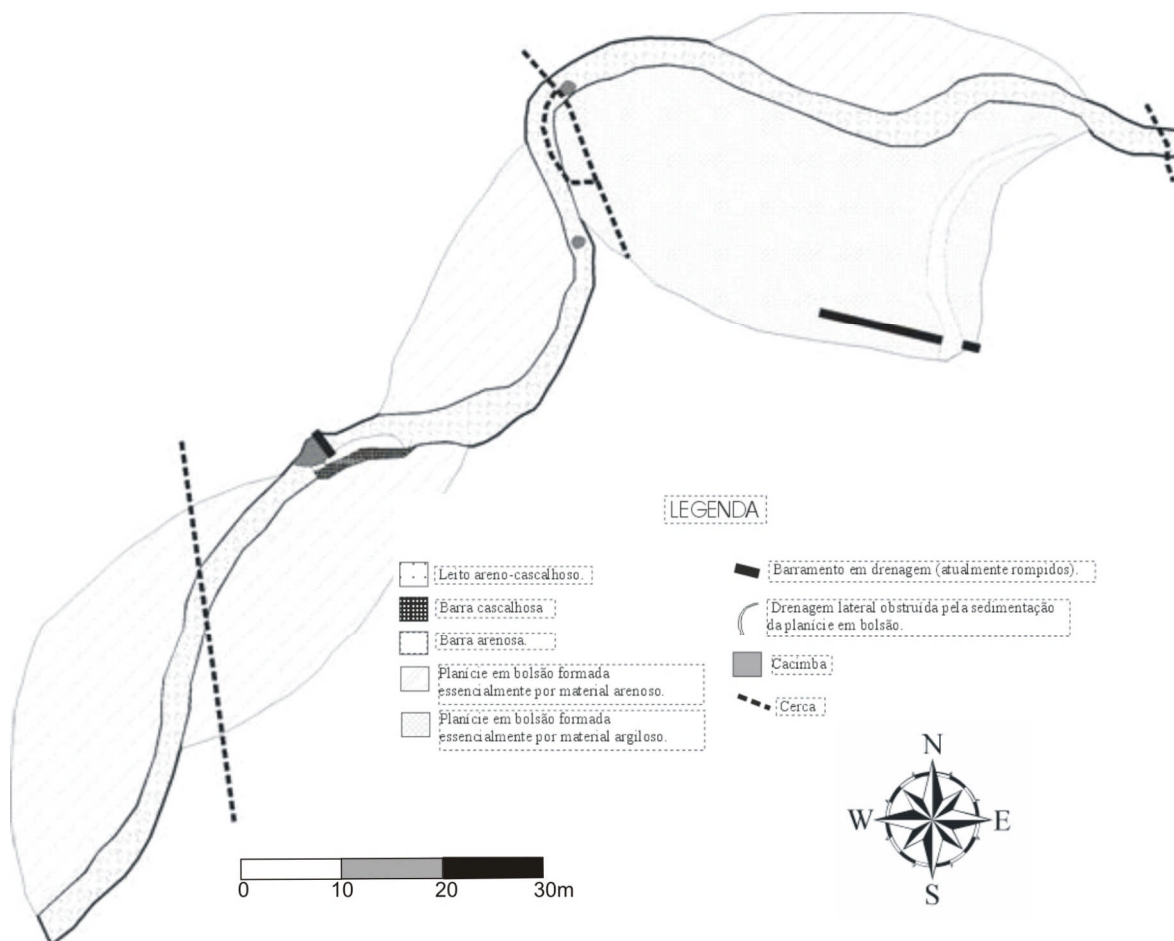


Figura 14 – Exemplo de trecho semi-confinado do riacho Salgado com seus respectivos estilos fluviais.

Conclusões

A literatura internacional que versa sobre a dinâmica geomorfológica de micro-bacias semi-áridas (entre 20 e 500 Km²), impactadas pelas formas tradicionais de uso e ocupação do solo, apontam para que nestes sistemas as alterações morfológicas devem-se à ação de eventos desencadeadores de grande magnitude e baixa recorrência temporal. A falta de estudos no sentido de investigar a ação dos *inputs* climáticos capazes de estabelecer novos patamares geomorfológicos no semi-árido do Nordeste do Brasil ainda não permite definir com exatidão a escala das respostas espaciais frente às várias modulações meteorológicas que atingem a região. Não obstante, este estudo revelou que a partir do cruzamento de técnicas de geoprocessamento, trabalho de campo e análise dos dados de climatologia histórica e imageamento remoto é possível vislumbrar qual evento climático, atuando sobre determinado substrato de ações antrópicas, é capaz de reafeiçoar integralmente um canal fluvial intermitente, de baixa ordem na hierarquia hidrográfica regional.

Os resultados apontaram para que na escala da micro-bacia estudada todos os barramentos fluviais foram rompidos e novos patamares de equilíbrio entre formas erosivas e deposicionais encontram-se em ajuste passados mais de quatro anos do evento desencadeador. No entanto, a análise climática ainda permitiu constatar que a concentração espacial dos aportes climáticos no contexto semi-árido estudado não permite definir modelos robustos para a previsão de cenários sinóticos em outros contextos fluviais, ainda que as respostas morfológicas encontradas devam ser bastante semelhantes.

De fato, constata-se que o lapso entre a modelagem da dinâmica das paisagens fluviais semi-áridas em escala regional e os estudos locais, voltados para a mensuração em campo, carecem da aquisição de dados *in situ* com o uso de estações meteorológicas digitais móveis, e aferição direta das respostas morfológicas decorrentes de aportes climáticos de distintas gêneses e escalas de operação espaço-temporal.

Referências

- BAILING JR, R. C.; WELLS, S. G. Historical Rainfall Patterns and Arroyo Activity within the Zuni River Drainage Basin, New Mexico. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 80, n.4, p. 603-617, 1990.
- BRIERLEY, G; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area*, 38 (2) , p.165–174, 2006.
- BRIERLEY, G; FRYIRS, K. A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publications, Oxford, UK, 2005, 398p.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, v. 42, n. 2-4, 99-123, 2001
- CAMBRÉZY, L.; JANIN, P. O risco alimentar na África. In: VEYRET, Y. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. p.113-132.
- CONTI, J. B. Resgatando a Fisiologia da Paisagem. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, São Paulo, v. 14, p. 59-68, 2001.
- CORREA, A. C. B. O geossistema como modelo para a compreensão de mudanças ambientais pretéritas: uma proposta de geografia física como ciência histórica. In: Sá, A. J.; Corrêa, A. C. B. *Regionalização e Análise Regional: perspectivas e abordagens contemporâneas*. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2006, p. 33-46.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Belém de São Francisco, estado de Pernambuco /

Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Julio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

GRAF, W. L. Geomorphology and American Dams: The Scientific, Social, and Economic Context. *Geomorphology* v. 71, p. 3-26, 2005.

MUTZENBERG, D. S. Gênese e ocupação pré-histórica do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do Vale do Rio Carnaúba – RN. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 142p.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M.. Os tipos de risco. In: VEYRET, Y. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007. p.63-80.

ZAPE. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco/Fernando Barreto Rodrigues e Silva.[et al.]. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 1998. CD-ROM.- (Embrapa Solos. Documentos; no. 35).ZAPE Digital, 2001.