



A PROPOSTA DE ESTILOS FLUVIAIS NA ANÁLISE DA MORFODINÂMICA EM RIO SEMIÁRIDO: Rio Ipanema, Pernambuco

Wemerson Flávio da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Joana D'arc Matias de Almeida
Universidade Federal de Pernambuco

Leandro Diomério João dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco

Sinara Gomes de Sousa
Universidade Federal de Pernambuco

Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Universidade Federal de Pernambuco

Oswaldo Girão
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo

Em um contexto climático de semiaridez, a demanda por recursos hídricos é um fator limitante para a qualidade de vida da sociedade, portanto pesquisas que tenham como foco a compreensão da dinâmica fluvial semiárida são fundamentais para o planejamento/gestão e convivência em terras secas. Destarte, o presente trabalho analisou trecho do Rio Ipanema, localizado nos estados de Pernambuco e de Alagoas, com o objetivo de adaptar a proposta metodológica de estilos fluviais para analisar a morfodinâmica local associada a drenagens semiáridas. Para tanto, usou-se como ferramentas de análise um Modelo Digital do Terreno (SRTM) para extração automática da bacia de drenagem; e imagens Google Earth Pro georreferenciadas para o processamento de mapas em ambiente SIG com ênfase na identificação de formas erosivas e deposicionais; trabalho de campo e aplicação de ficha técnica para avaliação de processos fluviais. O trecho em análise refere-se ao canal com grau de confinamento parcialmente confinado, com fluxo de água descontínuo, de padrão anastomosado, com a presença de depósitos em barras longitudinais isolados, barras em pontal, planícies de inundação descontínuas e diques marginais, além de processos erosivos atuantes, como o solapamento das margens. O estudo minucioso em canais fluviais de terras secas possui uma utilidade social relevante, haja vista a possibilidade como alternativa ao planejamento e a gestão dos recursos hídricos e ambientais de forma integradora e eficiente

Palavras-chave: Estilos Fluviais, Morfodinâmica, Rio Ipanema.

THE PROPOSAL OF RIVER STYLES IN THE ANALYSIS OF MORPHODYNAMICS IN SEMIARID RIVER: Ipanema River, Pernambuco

Abstract

In a semi-arid climatic context, the demand for water resources is a limiting factor for the quality of society life, so research that focuses on the understanding of semiarid river dynamics is fundamental for planning/management and coexistence in drylands. Thus, the present work analyzed an Ipanema River, located in the states of Pernambuco and Alagoas, with the objective of adapting the methodological proposal of fluvial styles to analyze the local morphodynamics associated to semi-arid drainage. For this purpose, a Digital Terrain Model (SRTM) was used as an analysis tool for automatic extraction of the drainage basin; and Google Earth Pro georeferenced images for the processing of maps in GIS environment with emphasis on the identification of erosive and depositional forms; fieldwork and application of technical file for evaluation of fluvial processes. The section under analysis refers to the canal with confined space partially confined, with discontinuous water flow, anastomosed pattern, with the presence of deposits in isolated longitudinal bars, pontoon bars, discontinuous flood plains and marginal dikes, besides erosive processes, such as margin overlap. The detailed study of dryland fluvial channels has a relevant social utility, considering the possibility as an alternative to the planning and management of water and environmental resources in an integrative and efficient way.

Keywords: River Styles. Morphodynamics. Ipanema River.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são imprescindíveis para a sociedade e com o aumento significativo da população mundial nas últimas décadas, houve uma crescente demanda pelas fontes de água para o consumo humano. Isso ocasionou uma pressão maior no sistema hídrico e problemas pelo uso antrópico indevido direto aos canais fluviais. Nos ambientes de clima mais seco, como o árido e o semiárido, a sobrecarga é maior devido à escassez de água na região e, conseqüentemente, a sua utilização inadequada. Na pesquisa em questão, a área estudada se encontra totalmente inserida em um clima semiárido, tendo o sistema fluvial como escape para diferentes finalidades de uso aos habitantes da bacia hidrográfica do rio Ipanema, com sua nascente no estado de Pernambuco e seu exutório no estado de Alagoas.

Nos ambientes semiáridos, a intensificação das atividades antrópicas, como o desenvolvimento da agropecuária nas proximidades dos canais fluviais, provoca alterações no caráter e na estabilidade dos rios (BRIERLEY *et al.*, 1999; BRIERLEY *et al.*, 2002; BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Nesse contexto, a proposta metodológica de estilos fluviais desenvolvida por Brierley e Fryirs (2005) é viável como uma possível

alternativa ao planejamento e a gestão de bacias hidrográficas, sobretudo se aplicada ao ambiente semiárido. Visto que, na proposta dos estilos fluviais, a bacia passa a ser analisada de forma sistêmica por meio de um conjunto de atributos estudados pelos controles existentes no rio, como por exemplo, as características do vale, formato do canal, unidades geomórficas e a própria textura do leito (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; BRIERLEY *et al.*, 2011; LIMA e MARÇAL, 2013), facilitando o entendimento dos processos e do comportamento fluvial (CORRÊA *et al.*, 2009).

De acordo com Lima e Marçal (2013), a metodologia dos estilos fluviais consiste em uma classificação de trechos do canal, no qual o conjunto de características de caráter geomorfológico e hidrodinâmico é evidenciado, levando a uma distinção do comportamento do rio em seus segmentos. Visto que, o rio poderá apresentar distintas tipologias ao longo de seu curso, uma vez que cada trecho do canal interage de maneira específica com a paisagem adjacente (ALMEIDA *et al.*, 2016). Nesse sentido, Brierley e Fryirs (2005) desenvolveram a proposta baseada na análise em diferentes escalas espaciais e sua interação com a paisagem: bacia hidrográfica (controles e características gerais da bacia), unidades de paisagem (controles topográficos sobre as características e comportamento fluvial), estilos fluviais (trechos com arranjos morfológicos e processuais homogêneos, utilizados na classificação dos estilos fluviais), unidades geomórficas (arranjos erosivos e tipos de materiais disponíveis) e unidades hidráulicas (características do fluxo e sua interação superfície-subsuperfície-substrato). Além disso, considera ainda a escala temporal, no qual são averiguadas a mutabilidade e a dinâmica dos canais ao longo do tempo, auxiliando em seu planejamento (gestão e manejo) (BRIERLEY *et al.*, 1999; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2016).

A análise sistêmica concebida por Brierley e Fryirs (2005) contempla quatro etapas, sendo a primeira a identificação, interpretação e o mapeamento de tipologias baseada no grau de confinamento dos trechos de canais fluviais (confinado, não confinado e parcialmente confinado). Configura-se como canal confinado aquele com menos de 10% de planície de inundação ao longo do trecho; não confinado, com mais de 90% de planície de inundação e parcialmente confinado, entre 10% a 90% com planície de inundação. A segunda etapa consiste na avaliação do comportamento do sistema fluvial para cada segmento representativo, destacando-se as formas e os processos existentes. A terceira fase contempla a estimativa futura de mudanças na dinâmica do canal e, por fim, a última etapa relaciona ao uso, os conhecimentos adquiridos das três etapas anteriores na gestão do sistema fluvial. Dessa forma, a pesquisa em questão tem como objetivo definir a compartimentação fluvial entendendo a sua relação com a paisagem e destacar a morfodinâmica associada ao trecho de maior representatividade da atuação de processos e formas fluviais do rio Ipanema, com o intuito de fornecer bases para a difusão de tal proposta em demais drenagens semiáridas.

ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa analisa um trecho no médio curso do rio Ipanema no município de Águas Belas/PE, inserida no contexto da referida bacia. Está localizada entre os estados de Pernambuco e de Alagoas (Figura 1), tendo a maior parte de sua área de

captação fluvial no primeiro estado. Como o trecho analisado pertence à cidade de Águas Belas, escolheu-se a delimitação político-administrativa deste município para a elaboração da caracterização geoambiental da área.

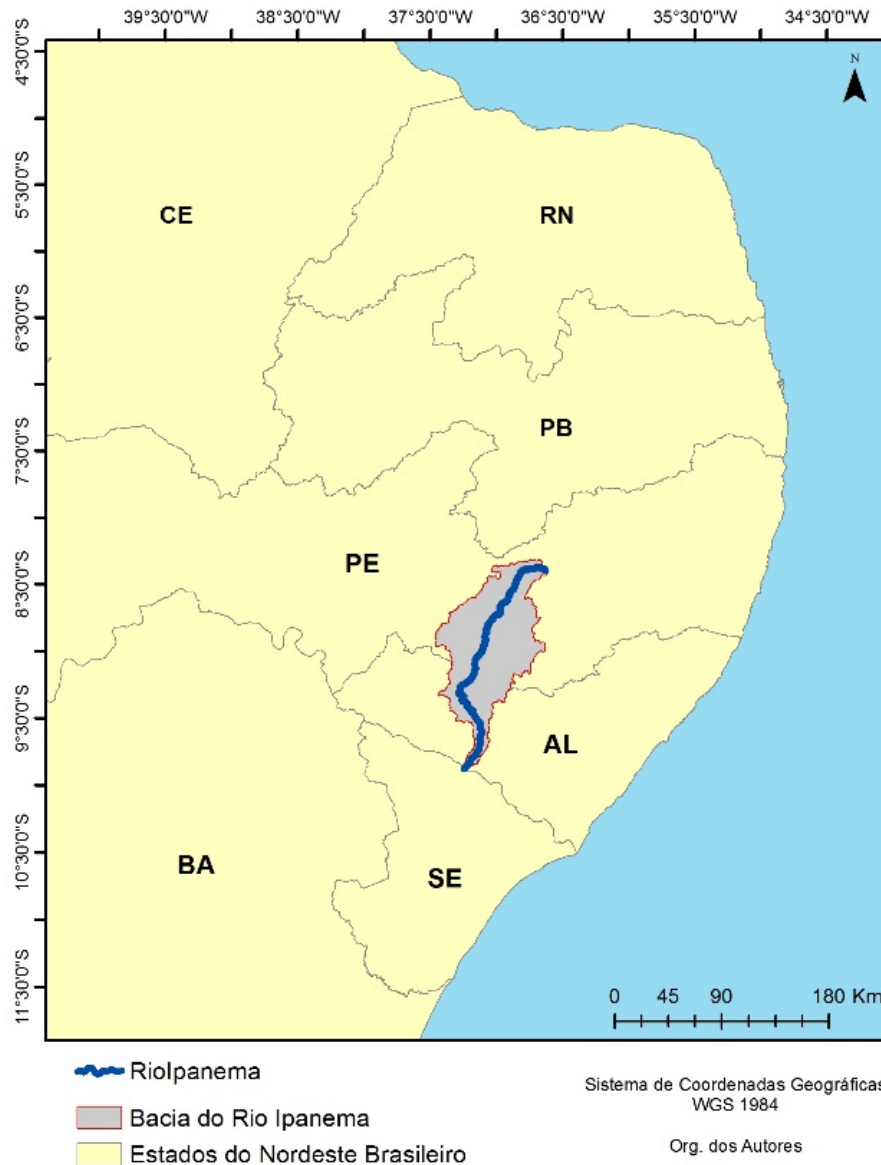


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema no Nordeste Brasileiro.

A bacia como um todo apresenta uma extensão de aproximadamente 7.763 km² (MENKE *et al.*, 2013), tendo sua nascente situada no município de Pesqueira (PE) percorrendo aproximadamente 139 km, na direção norte-sul, até desaguar no rio São Francisco (MOREIRA FILHO, 2011). De caráter intermitente, o rio Ipanema, sobretudo no trecho analisado, apresenta um padrão entrelaçado, com presença de barras fluviais que garantem a multiplicidade de canais, contendo em seu leito carga de fundo de granulometria grosseira em abundância.

Canais entrelaçados são desenvolvidos por seleção, à medida que a correnteza vai deixando o material de frações granulométricas que não pode transportar. A diminuição progressiva da declividade leva a menor granulometria do material que compõe a carga de fundo. No caso da correnteza ser incapaz para movimentar a totalidade da carga fornecida ao rio, fenômenos de aggradação poderão ocorrer sem necessariamente acarretar a formação de canais entrelaçados (RICCOMINI e COIMBRA, 1993).

De acordo com CPRM (2005) – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, o município de Águas Belas está inserido na Província Borborema, constituído por litotipos dos complexos Cabrobó e Belém de São Francisco e das suítes Chorrochó, Peraluminosa Xingó e Calcialcalina Médio a Alto Potássio Itaporanga. Em relação ao domínio geológico-ambiental, o município pertence ao Domínio dos Complexos Granitóides não deformados da série shoshonítica, apresentando um relevo montanhoso e Domínio dos Complexos Gnaiss-Migmatíticos e Granulitos, com ocorrência de Ortognaisses e Paragnaisses que em ambos os casos, podem conter porções migmatíticas, e seu relevo se apresenta com superfícies aplainadas degradadas (CPRM, 2014).

Geomorfologicamente, a bacia do rio Ipanema, em uma classificação elaborada por Menke *et al.* (2013), foi compartimentada em quatro unidade geomórficas, a saber: Planalto da Borborema; Rebordos escarpados e Elevações residuais; Pediplano do baixo São Francisco e Depressão do São Francisco. A área pesquisada situa-se entre a segunda e a terceira unidade (rebordos escarpados, elevações residuais e pediplano do baixo São Francisco), pois sua paisagem é composta por um bloco residual com altimetrias que ultrapassam os 900 metros, cujo processo de dissecação das encostas é responsável pela esculturação do relevo, além de uma superfície aplainada cortada de Norte a Sul pelo Ipanema, com baixas declividades e predominância de rochas metamórficas.

Em uma compartimentação realizada por Corrêa *et al.* (2010), a bacia do Ipanema está inserida na Depressão Intraplanáltica do Ipanema, que se localiza entre os Maciços Remobilizados do Domínio Pernambuco-Alagoas e a Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas. Como destacam os autores supracitados, a área foi provavelmente afetada pelos mesmos eventos que as demais unidades que compõem o Planalto da Borborema e caracteriza-se, principalmente, pela marcada dissecação epigênica do alto curso do rio Ipanema. No médio curso, as formas presentes são vastas planuras interrompidas por blocos e morros residuais, que resistem aos processos erosivos e intempéricos pela diferenciação do seu material litológico.

Entre as formas deposicionais encontradas neste segmento parcialmente confinado encontram-se barras longitudinais (com e sem formação vegetal), barras laterais e planícies de inundação. Os processos erosivos vão se desenvolver nos depósitos em escalas espaciais e temporais (COLLINSON, 1996), ou seja, num curto período de tempo, uma maior vazão do fluxo pode levar a erosão lateral das formas deposicionais menos coesas e o substrato mais coeso ser erodido numa escala de tempo maior. Destaca-se que os processos erosivos nas barras podem acontecer por meio de erosão linear e laminar, sendo os principais agentes o próprio fluvial (maior e menor vazão), o eólico (período mais seco e com os depósitos de granulometria mais fina e pouco coesos) e o antrópico (extração do material depositado para fins de construção civil, obras e aproveitamento para usos da terra).

Quanto aos tipos de solos verifica-se, predominantemente, a presença de neossolos regolíticos e os planossolos (SILVA *et al.*, 2001). Os neossolos regolíticos apresentam uma textura arenosa, são pouco profundos a profundos, possuem uma reserva de minerais primários alteráveis, comumente feldspatos potássicos, nas frações silte, areia e/ou cascalho (TORRES, 2014). Já os planossolos caracterizam-se por serem imperfeitamente drenados, com profundidades variáveis (desde rasos a medianamente profundos) e geralmente, nos horizontes mais superficiais, possuem uma quantidade regular de cascalho e de calhaus de quartzo; e nos horizontes Bt e C, pequenos pontos amarelo-esbranquiçados de feldspatos em decomposição (ARAÚJO FILHO, 2000). Ainda quanto aos solos presentes, ocorrem, em menor quantidade, neossolos litólicos e luvisolos (Silva *et al.*, 2001).

Com relação ao uso e a ocupação da terra, predominam atividades agrícolas e pecuárias de baixa representatividade, majoritariamente destinada à subsistência dos moradores que habitam o entorno do canal. As atividades se desenvolvem sobretudo nas planícies aluviais. A vegetação predominante é a caatinga, variando entre as espécies de caatinga arbórea e matas secas (AB'SÁBER, 2003; MACIEL e PONTES, 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

Extração automática de drenagem e delimitação de bacia hidrográfica

A princípio foi confeccionado um mapeamento básico, para a delimitação da Bacia Hidrográfica do rio Ipanema e especificação da área de estudo. Usou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, com resolução espacial de 30 metros. A partir desse MDT, foi realizado a extração da bacia e da drenagem de forma automática, obedecendo o procedimento de Souza e Almeida (2014). O processamento dos mapas ocorreu em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), gerados na plataforma do *software* ArcGis 10.3. Ainda com base nesse MDT, foram gerados os mapas de declividade e de direção de fluxo, também no referido *software*, a partir das extensões *Raster Surface* (ferramenta *3D Analyst*) e *Flow Direction* (ferramenta *Hidrology*), respectivamente.

Mapeamento de estilos e tipologias fluviais

O mapeamento dos estilos fluviais do Rio Ipanema ocorreu em conformidade com a metodologia elaborada por Brierley e Fryirs (2005), adaptando-a dado o foco do estudo aqui proposto. Nesse sentido, foram identificados os tipos de canais existentes na área, a partir do seu grau de confinamento, se confinados, parcialmente confinados ou lateralmente não confinados. Essa definição baseia-se na identificação de planícies de inundação nos trechos de canal, se contínuas ou descontínuas. Quando contínuas e presentes em mais de 90% do trecho definiu-se como lateralmente não confinado, enquanto as planícies descontínuas entre 10% a 90% do trecho nomearam-se a tipologia de parcialmente confinado. A tipologia de canal confinado foi definida a partir da identificação de planícies aluviais descontínuas em menos de 10% do trecho, com canais de leito escavados. Em seguida, a pesquisa deu ênfase ao trecho parcialmente confinado do canal principal, por sua representatividade de morfologias fluviais e em relação a morfodinâmica local. Assim, a *posteriori*, destacou-se os processos erosivos e as formas deposicionais existentes.

Para o reconhecimento das planícies de inundação nos trechos do Rio Ipanema, padrões de drenagem e mapeamentos das formas deposicionais foram utilizadas as imagens do *Google Earth*, referente a CNES *Airbus* e *Digital Globe* dos períodos de 2000 a 2016 (junho 2000/ novembro 2001/ setembro 2006/ março 2010/ janeiro 2011/ agosto 2013/ fevereiro e junho /2016), com resolução espacial de 0,30 metros; e perfis topográficos perpendiculares a drenagem gerados a partir do MDT com dados do projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*, com resolução espacial de 30 metros.

Em seguida, centralizou-se a pesquisa no mapeamento de detalhe de um trecho parcialmente confinado representativo quanto a espacialização das formas deposicionais. Para isso, foram utilizadas as imagens do *Google Earth*, mapeando em software ArcGis 10.1, as unidades geomórficas presentes e processos erosivos locais associados ao ambiente fluvial.

Análise de processos erosivos fluviais

A partir de trabalho de campo, foi observado o estilo fluvial parcialmente confinado para a aplicação de uma ficha de campo, na qual foram observadas a localização básica (município, coordenadas geográficas e características gerais da situação geográfica); os dados regionais (bacia hidrográfica, geologia, unidade geomorfológica e descrição do relevo); a descrição e a estrutura superficial da paisagem (tipo de estruturas superficiais, granulometria dominante e espessura e processos intempéricos evidenciados); os processos superficiais (formas e feições erosivas e ou deposicionais) e a caracterização do uso da terra (Tabela 1). A ficha de campo, adaptada da metodologia de estilos fluviais, em que Brierley e Fryirs (2005) visam propor um conhecimento em detalhe dos processos vigentes no canal em suas particularidades, teve por objetivo detalhar a área de estudo,

principalmente no que tange os processos erosivos fluviais locais relacionados a tipologia fluvial em destaque.

Tabela 1. Exemplo de ficha aplicada em campo e resumo da ficha de campo

Identificação do ponto	Município	Coordenadas	Situação Geográfica		
Características do trecho analisado	Águas Belas	Lat. 09°08'09"/ Long. 37°09'37"	Depressão Sertaneja São Franciscana/Ambiente fluvial semiárido/Leito do rio anastomosado com diferentes níveis de terraço		
Dados Regionais	Bacia Hidrográfica	Geologia (unidade estrutural e litologia)	Unidade Geomorfológica		
Características observadas em dados cartográficos da área e observações em campo	Bacia do rio Ipanema em ambiente semiárido	Complexo Cabrobó – Belém de São Francisco/Granito	Barras longitudinais Terraço fluvial Barra lateral Leito rochoso Planície de Inundação		
Descrição da estrutura superficial da paisagem	Domínio Fluvial	Domínio Interflúvia I	Granulometria dominante		Processos intempéricos evidenciados
	Rocha sã Aluvio	Rocha sã Pavimento detrítico	Dom. Fluvial Areia média a fina	Dom. Interflúvia I Areia grossa a cascalho	
Caracterização do uso da terra	Processos superficiais relativos à erosão e deposição		Formas e feições erosivas e/ou deposicionais		
	Erosão e deposição fluvial Deposição em barras longitudinais, laterais, planície de inundação e terraços		Domínio Fluvial Deposicionais – barras longitudinais, laterais, planícies de inundação Erosivas – Solapamento das margens	Domínio Interflúvia Ravinamentos Erosão laminar a partir do fluxo hortoniano	
	Pecuária extensiva	Esta forma de uso pode levar a intensificação dos processos erosivos no domínio interfluvial			

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No ambiente do canal principal do rio Ipanema, atrelado ao contexto geológico e estrutural da bacia e utilizando a proposta metodológica de Brierley e Fryirs (2005), foi confeccionado o mapa do grau de confinamento do vale (Figura 2), do qual foram representados os trechos confinado, parcialmente confinado e lateralmente não confinado.

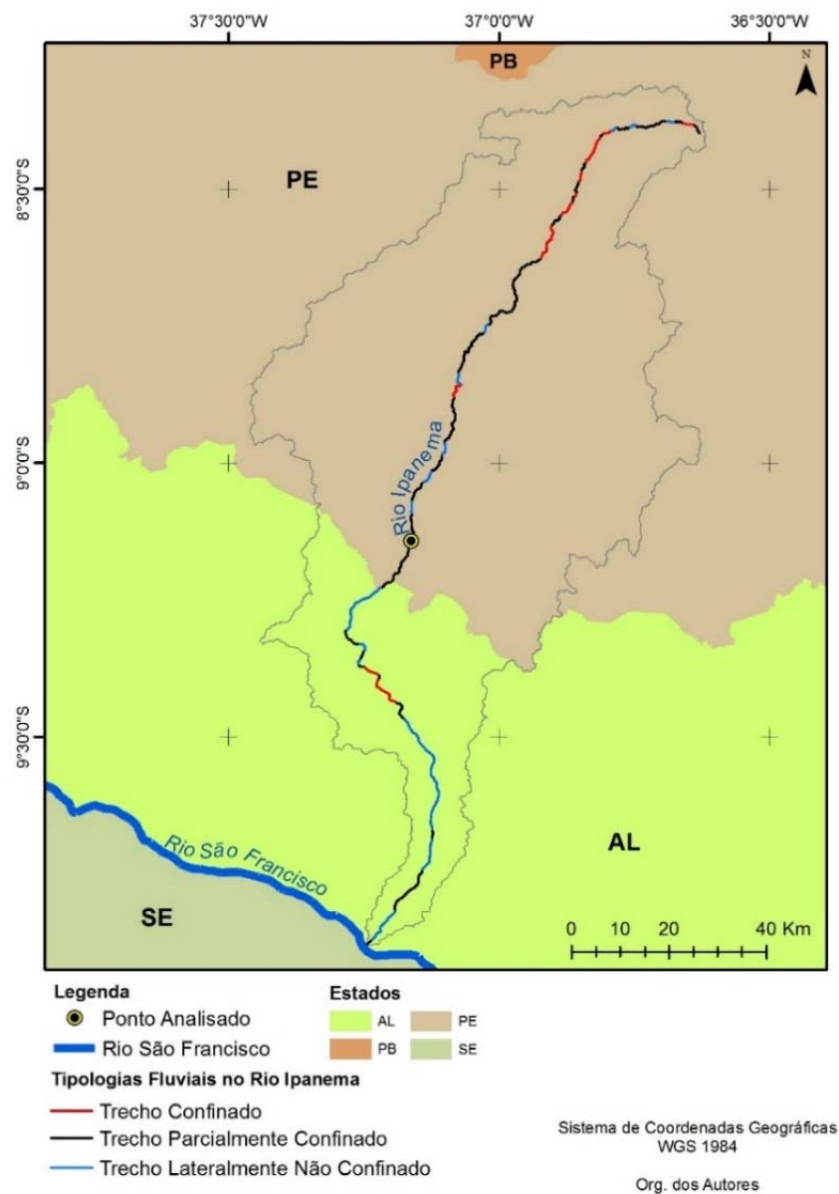


Figura 2. Mapa do grau de confinamento de vale do Rio Ipanema.

É importante salientar que os trechos foram definidos a partir da ênfase na identificação das formas deposicionais, bem como, dados de Modelos Digitais de Elevação, declividade e contexto estrutural. Conforme a Figura 2, os trechos

confinados apresentam a menor expressividade no canal principal (cerca de 17,6%), exibindo pouca representatividade de formas deposicionais. A tipologia em destaque exibe barras laterais em processo de acreção lateral, considerando a dinâmica temporal dos processos fluviais, podendo alterar as tipologias no canal como tendência da evolução natural do rio. Dessa forma, observa-se que os trechos confinados apresentam-se em 42,6 km do canal principal, alternando-se entre os trechos de canais parcialmente confinados e lateralmente não confinados (Figura 3).

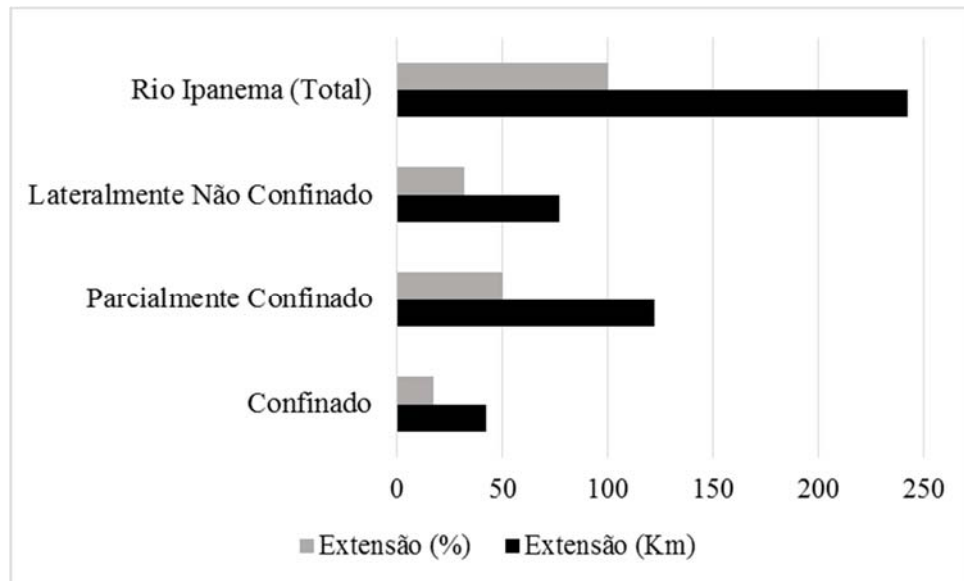


Figura 3. Total em km e porcentagem dos trechos destacados

Os trechos lateralmente não confinados desenvolvem-se no total de 77 km (cerca de 31,9%) em segmentos intercalados. Tal tipologia de vale possui amplitude em suas formas deposicionais, como planícies de inundações largas e barras longitudinais isoladas e vegetadas. Essas áreas são destinadas a diferentes usos antrópicos, impulsionando os processos erosivos locais.

Os trechos parcialmente confinados destacam-se em expressividade no Rio Ipanema, com total de 122,3km, o equivalente a 50,5% de todo o canal. As formas deposicionais são importantes nessa tipologia, apresentando depósitos em barras longitudinais, criando o padrão de canal anastomosado em diversos segmentos parcialmente confinados; barras em pontal, planícies de inundação descontínuas e diques marginais.

Dentre os segmentos parcialmente confinados, foi definido, devido a sua representatividade na morfodinâmica de canais semiáridos, um ponto de análise que teve o intuito de verificar as formas deposicionais associadas ao trecho e aos processos erosivos recorrentes no ambiente fluvial em terras secas. Como sugere o perfil longitudinal do Rio Ipanema (Figura 4), o ponto está localizado a

aproximadamente 320 metros de altitude estando sobre a Depressão Sertaneja São Franciscana.

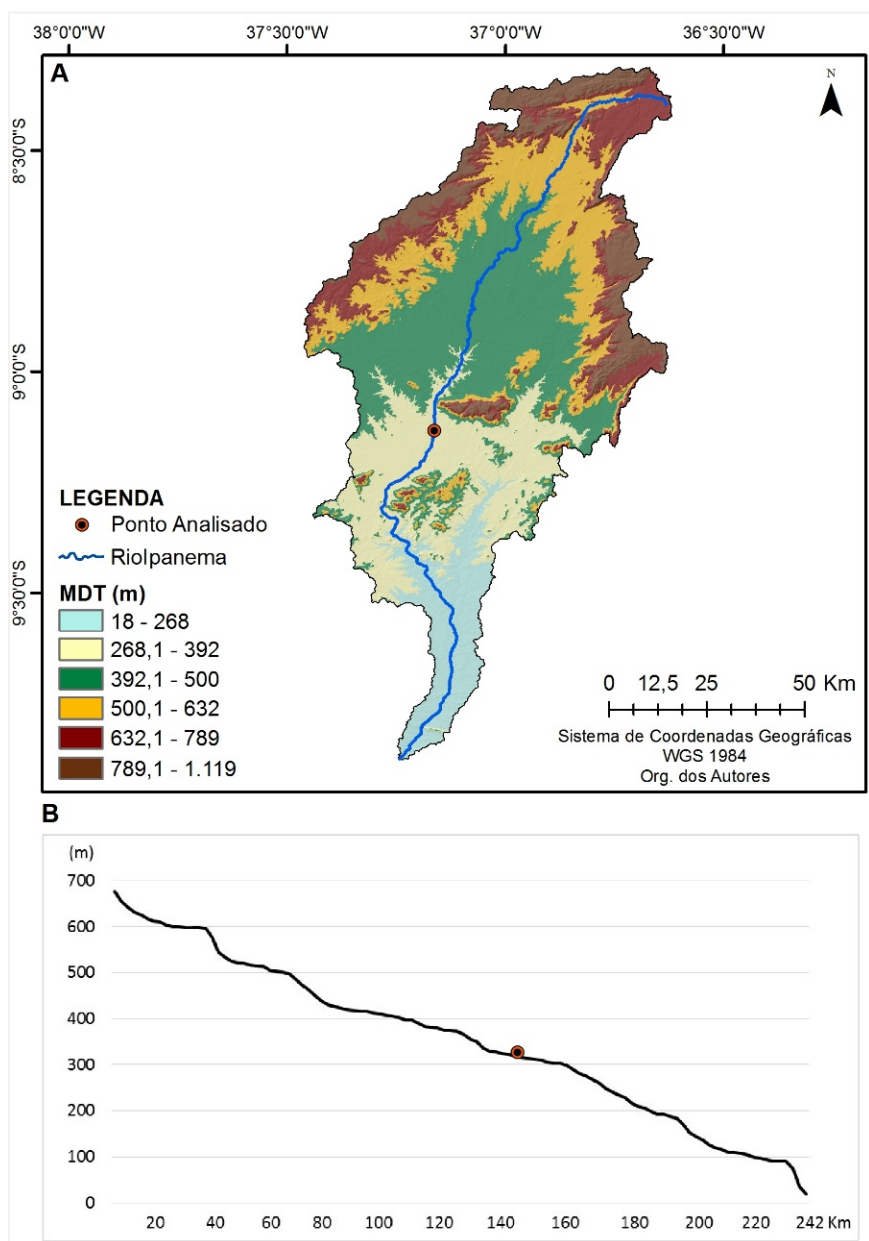


Figura 4. A) MDT (Modelo Digital do Terreno) da Bacia Rio Ipanema. B) Perfil longitudinal do Rio Ipanema.

Tal trecho específico foi analisado com maior detalhamento (Figura 5), voltado para entender o contexto morfodinâmico que conduziu a formação das morfologias presentes, além da utilização de uma ficha de campo, com indicadores de erosão em ambiente fluvial semiárido. O trecho destaca-se em relação as formas fluviais, pois se trata de um padrão anastomosado. Assim, este trecho compreende o

padrão de configuração de vale parcialmente confinado cujo as formas fluviais identificadas foram: barra lateral, barra longitudinal, barra longitudinal vegetada, leito rochoso, planície de inundação e canal descontínuo. Além disso, encontram-se na extremidade deste recorte, duas discontinuidades de fluxo atreladas a estradas pavimentadas e não pavimentadas.

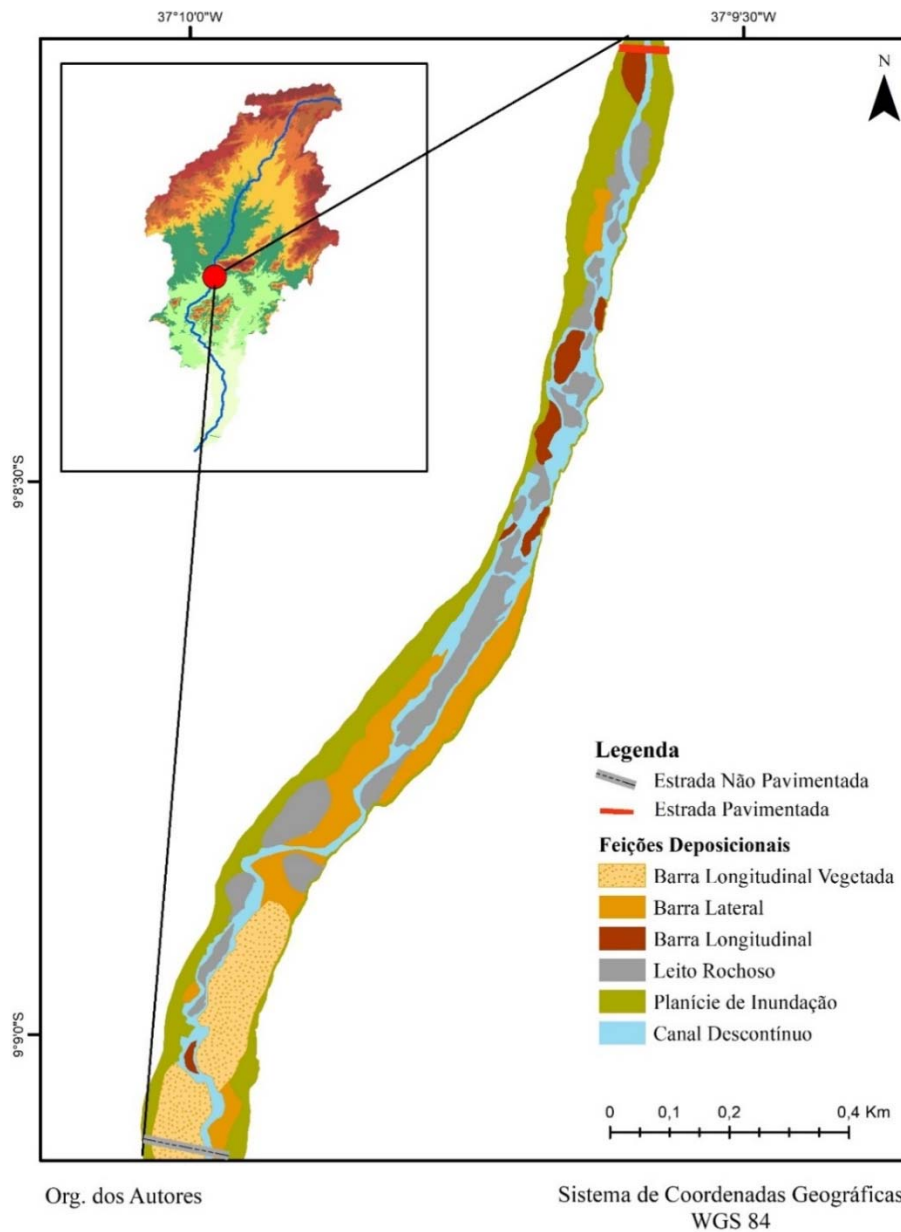


Figura 5. Mapa de Tipologias de formas fluviais do trecho parcialmente confinado do rio Ipanema.

A largura deste trecho varia entre 112 metros a 160 metros, exibindo um canal com fluxo de água descontínuo, todavia, a lâmina de água é intermitente e somente aparece em logo após os eventos de precipitações na área. No mapa realizado do

trecho (Figura 5) foi indicado, a partir das imagens do *Google Earth Pro*, que o fluxo canalizado ocorre nos períodos de anos chuvosos, como em 2010, por exemplo. Tal situação está de acordo com os estudos de Goudie (2013), ao indicar que os cursos de drenagem em regiões áridas e semiáridas são raramente integrados e os processos de inundação são repentinos. Observa-se também, que a planície de inundação é descontínua, caracterizando um segmento parcialmente confinado.

As formas fluviais, que variam diante da escala temporal, são resultantes dos processos deposicionais e erosivos em ambiente semiárido. Destaca-se que os tipos de processos intempéricos predominantes são os físicos, portanto, como observado na área e identificado na ficha de campo, nota-se as ações da termoclástia; esfoliação esfeirodal nos fragmentos rochosos disponíveis tanto no leito do canal, quanto em áreas próximas. Foi verificado também a ação radicular das espécies arbustivas, que estão dispostas sobre as barras longitudinais vegetadas e planície de inundação.

As barras longitudinais vegetadas são formas deposicionais que devido a presença da vegetação adquirem maior resistência aos processos erosivos e induzem a deposição, portanto, configuram-se como uma forma fluvial mais estável na paisagem e apenas eventos de alta magnitude e baixa frequência são capazes de modificá-las. Sobre uma dessas barras, há uma estrada não pavimentada caracterizando uma descontinuidade denominada de *buffers*, cuja forma criada a partir do uso e ocupação da terra conduz a interrupção na transmissão de sedimentos dentro do canal.



Figura 6. Barra longitudinal exposta aos processos erosivos no trecho analisado do rio Ipanema (seta vermelha).

As barras longitudinais e laterais, que não possuem vegetação, tornam-se muito mais instáveis, de modo que, ficam mais susceptíveis aos processos erosivos. Conforme a Figura 6, observa-se uma barra longitudinal no trecho analisado, dominada por processos erosivos no contexto do canal. Embora o mesmo estivesse em seu período seco, constata-se a ação da erosão no solapamento do topo da unidade morfológica fluvial, mesmo que resquícios de vegetação ainda tentam atuar na manutenção desta forma. Assim, a modificação destas morfologias conduz o fluxo hídrico intermitente a ficar cada vez mais anastomosado e descontínuo. Portanto, a morfodinâmica atuando a produção de formas em ambientes de terras secas a qual a contribuição dos estilos fluviais pode trazer uma nova perspectiva de análise.

Neste sentido, a compreensão do ambiente semiárido, assim como, a conjuntura geomorfológica em que grande parte do canal principal está, ou seja, sobre uma Depressão Intraplânica a qual o padrão de vale parcialmente confinado é diferente de ambientes úmidos, por conseguinte, a compreensão sobre as dinâmicas superficiais tem que levar em consideração a presença de plainos. Segundo Almeida (2017) essas morfologias constituem sítios de acumulação de sedimentos, que ao considerar a dinâmica de transporte de fluxo e sedimentos, representam impedimentos da livre circulação de energia e matéria na bacia fluvial, com exceção aos eventos de alta magnitude, capazes de retrabalharem os sedimentos estocados nas planícies de inundação, incorporando-os de volta ao sistema.

É importante destacar que durante o trabalho de campo sobre o domínio interfluvial, foram verificados alguns ravinamentos, como também, em relação ao solo arenoso, a ação da erosão laminar, que diante de um ambiente semiárido tem como predomínio o fluxo hortoniano. Este tipo de escoamento superficial (*runoff*), é típico de zonas áridas e semiáridas devido a vegetação esparsa e solos rasos. Nesse sentido, de acordo com Goudie (2013), em regiões áridas e semiáridas, as chuvas de intensidade média ou baixa são suficientes para gerar o escoamento superficial, ou seja, o escoamento hortoniano ocorre diante das circunstâncias em que a taxa de abastecimento de chuva é maior que a infiltração.

É importante atrelar esta dinâmica ao conceito de conectividade de sedimentos discutido por Bracken *et al.* (2015), que consiste na transferência de materiais para uma zona de captação, ou seja, a movimentação dos sedimentos entre diferentes zonas dentro da bacia hidrográfica, conduz a interação dos componentes estruturais (sistemas morfológicos) e processos (sistema em cascata). Embora apenas um trecho foi utilizado como exemplo de análise neste trabalho, é imprescindível compreender a conexão de todos os elementos e morfologias que compõe uma bacia de drenagem e como se comportam os sedimentos em seu percurso sobre encosta, encosta-canal e no próprio canal (Bracken *et al.* 2015). Todavia, como a resposta dos sistemas morfológicos configuram a paisagem em um ambiente semiárido. Portanto, o aspecto das morfologias apresentadas na Figura 5 está vinculado as interações sistemáticas não-lineares dos diversos componentes,

com destaque para a magnitude-frequência dos gatilhos produtores de erosão, que ressaltam as dinâmicas climáticas de ciclo sinótico e o uso e ocupação da terra com a pecuária extensiva.

O material de menor granulometria é removido durante os períodos de pluviosidade concentrada e é transportado até o canal, servindo de fonte de sedimentos para o trecho analisado. Estes sedimentos ficam temporariamente depositados no canal e nas suas unidades morfológicas e, posteriormente, são transportados durante um novo ciclo temporal sinótico de precipitação. Por conseguinte, o domínio interfluvial tem características de pavimento detrítico. Bracken *et al.* (2015) evidenciam que os processos erosivos são espacialmente e temporalmente variáveis, ou seja, possuem uma característica não-linear, isto é, há dependência da distribuição da magnitude-frequência dos *inputs* climáticos, tectônicos e distúrbios antrópicos.

Os ciclos sinóticos, que são os gatilhos dos processos erosivos, e que resultam na modelagem das formas fluviais, estão indicados na Figura 7, na qual é possível observar as médias mensais dos anos de 2006 até 2015. Verifica-se um quantitativo entre 350 a 400 mm nos meses dos anos mais chuvosos (2006 e 2009), principalmente nos meses de dezembro e maio, com um pico significativo em maio de 2008, caracterizado pela atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e das Linhas de Instabilidades (LIs) em um período de *La Niña*, o que ocasionou significativa precipitação do referido mês (INFOCLIMA, 2008).

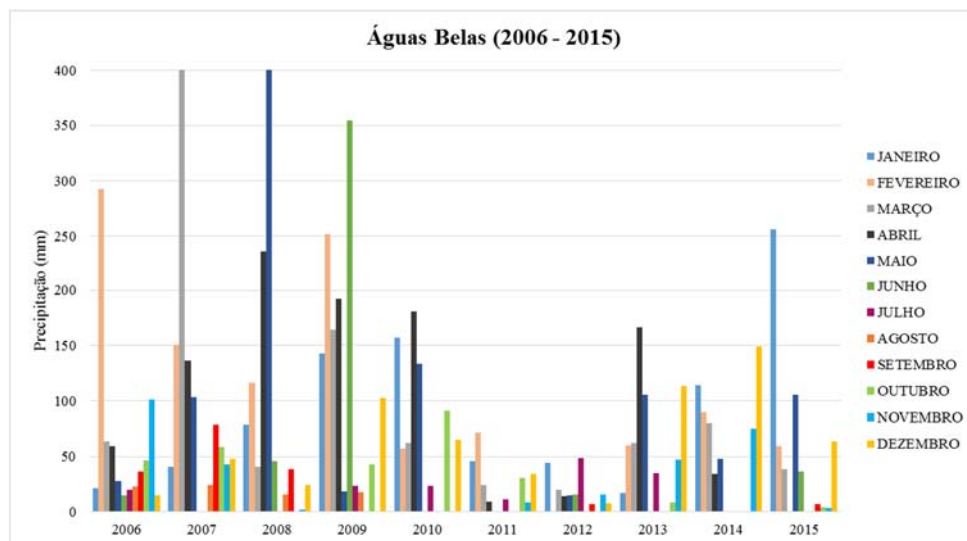


Figura 7. Médias mensais de precipitação do município de Águas Belas. Fonte: Agritempo – EMBRAPA (2017).

A partir de 2010, observou-se um decréscimo pluviométrico, sobretudo nos anos de 2011 e 2012 (Figura 7), devido à baixa atuação da ZCIT, uma vez que a mesma

estava mais ao norte de sua posição geográfica, em função da TSM (Pacífico Equatorial e sua teleconexão com o Atlântico Tropical) estar abaixo da média (INFOCLIMA, 2011; 2012). Em vista disso, a ZCIT não encontrou condições necessárias para descer até a latitude correspondente ao município de Águas Belas. Já entre 2013 e 2015, o quantitativo de chuvas volta a aumentar para o município, entretanto não com as mesmas médias dos anos de 2006 e 2009, confirmando a dinâmica não-linear dos sistemas atmosféricos (Figura 7).

Estes *inputs* climáticos foram um dos principais responsáveis pelo contexto erosivo e deposicional do segmento analisado, criando as formas identificadas no mapeamento (ex. solapamento das margens), que indicam a instabilidade das dinâmicas fluviais (Figura 8). Por conseguinte, estes ajustes nas morfologias do trecho do canal ocorrem sobretudo nos períodos de precipitações em dias consecutivos, que provocam inundações repentinas, responsáveis pela potencialização de processos erosivos. Já os sedimentos carregados pelo fluxo hortoniano no domínio interfluvial são as fontes para a formação de morfologias fluviais como, por exemplo, os diversos tipos de barras. Assim, as rochas sobre o canal podem servir para reter sedimentos, contribuindo para formação de depósitos fluviais.

É importante salientar que o uso e a ocupação da terra nas áreas de interflúvio contribui para os processos erosivos locais. A pecuária extensiva, atividade econômica mais praticada na região, tem como consequência o pisoteio do solo, cuja resposta é a agregação dos sedimentos, que diminuem a infiltração e aumentam o escoamento superficial, responsável por transportar os sedimentos para o canal. Portanto, tais aspectos antrópicos atrelados as dinâmicas naturais em ambientes semiáridos (ex. *inputs* climáticos) são, diante de suas relações sistêmicas, as causas dos processos erosivos neste trecho e, conseqüentemente, na modificação dos depósitos sedimentares fluviais mais instáveis.

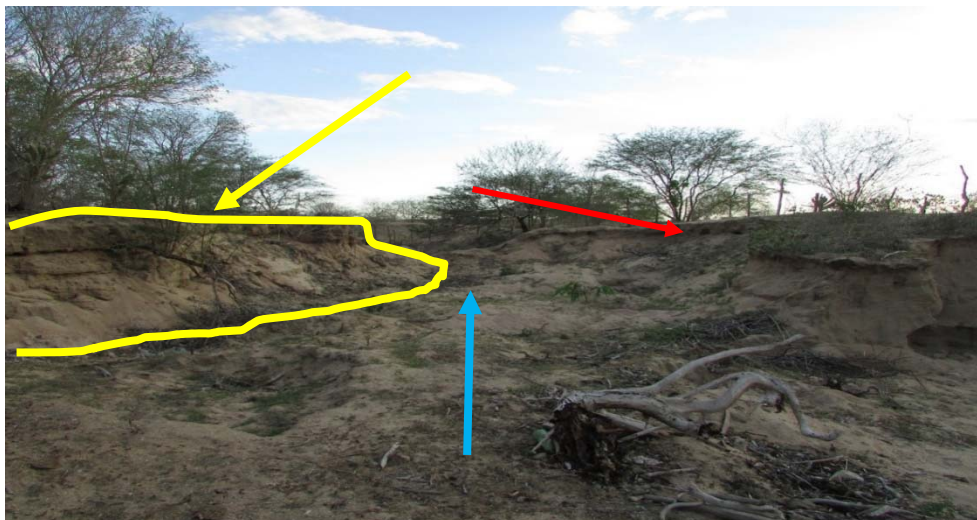


Figura 8. Solapamento da margem direita do segmento analisado (seta vermelha). Observa-se também a erosão sobre a barra longitudinal indicando sua instabilidade (seta amarela) e a direção do fluxo (seta azul).

Conforme o mapa de declividade (Figura 9), observa-se que após as planícies de inundações (entre 0% a 3% de inclinação), os declives variam entre 3% a 8% sobre o trecho ora analisado. Por conseguinte, considerando-se a conectividade e o transporte de sedimentos por gravidade, a topografia apresenta um papel de menor influência. Entretanto, as características dos solos rasos, a vegetação esparsa e o uso e ocupação da terra, associados aos ciclos sinóticos concentrados, induzem o transporte de sedimentos para o canal, que se depositam e contribuem para formação de morfologias fluviais, todavia, também podem ser transportados por efeito cascata para outros trechos do canal.

Já com relação a direção de fluxo (Figura 9), verifica-se que na margem esquerda do segmento do canal ocorre maior diversidade na direção de fluxo (escoamento superficial) e, portanto, a ação de transporte de sedimentos inconsolidados pelo fluxo hortoniano, característico neste ambiente, é mais desordenado, assumindo várias direções em relação à margem direita. Todavia, ambas as margens apresentam direcionamentos de fluxo a oeste (*pixels* amarelo), que podem ser indicativos de ravinamentos, devido a aparente concentração do fluxo, configurando uma conexão de transporte de sedimentos das margens para o canal. Conforme a literatura, Bracken e Wainwright (2008) indicam a variabilidade de precipitações e fluxos em terras secas gerando episódios de inundação (conduzindo a deposição) e erosão das morfologias dos canais fluviais. Portanto, as morfologias destes canais estão em constante modificação das suas formas, ou seja, nos canais intermitentes de clima semiárido as formas tendem a representar os últimos grandes períodos de inundação e o período de recuperação pode ter uma temporalidade variável a depender da magnitude – frequência dos eventos.

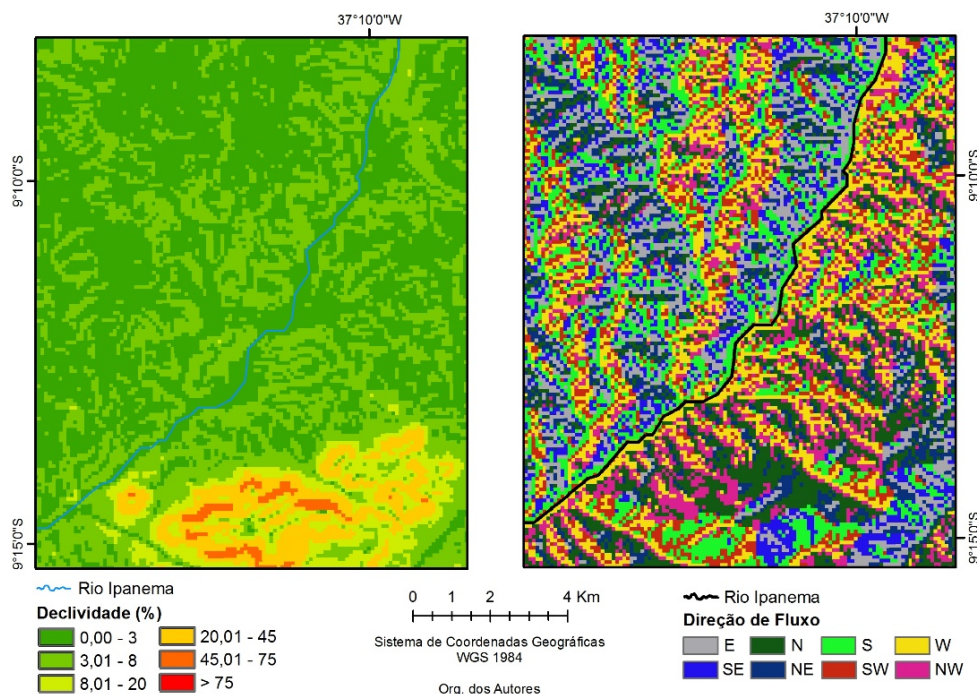


Figura 9. Mapa de declividade e direção do fluxo para compreender o escoamento superficial do trecho analisado do rio Ipanema.

Por conseguinte, Tooth e Nanson (2000) propuseram que os sistemas em terras secas podem apresentar condições de equilíbrio e não equilíbrio a depender de fatores como, por exemplo, tamanho da captação, gradiente do canal, duração da inundação, intensidade do fluxo, confinamento dos canais, coesão dos sedimentos e capacidade de resistência do estoque de sedimentos. Dessa forma, o trecho do rio Ipanema analisado neste artigo, pode ser um exemplo em concordância com esta abordagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ênfase nos estudos fluviais apresenta suma importância diante das condições de aridez da região Semiárida do Nordeste devido a multifuncionalidade dos canais fluviais e dada a sazonalidade dos períodos de cheia. A proposta de Estilos Fluviais fornece base robusta para o reconhecimento de diferentes tipologias de canal e suas formas associadas, bem como os processos geomorfológicos atuantes para a sua configuração e o reconhecimento das atividades antrópicas como modificadoras da paisagem local.

No Rio Ipanema, os padrões de canais estão associados não só aos controles estruturais presentes na área, mas a distribuição de atividades antropogênicas, como a pecuária e a agricultura, remobilizando os sedimentos das encostas para o canal. De tal modo, foram identificadas as três diferentes tipologias fluviais propostas por Brierley e Fryirs (2005), tais como confinado, parcialmente confinado e lateralmente não confinado. A tipologia de maior expressividade na bacia foi a de canal parcialmente confinado, com a deposição de sedimentos em barras longitudinais e laterais, diques marginais e planícies de inundações descontínuas.

A compreensão dos processos erosivos atuantes na tipologia fluvial analisada torna-se base para eleger medidas de planejamento local, com intuito de reduzir o impacto antrópico nos interflúvios do semiárido, propiciando um melhor aproveitamento dos canais, como a utilização alternativa de depósitos de planícies de inundação para o abastecimento de água, com a perfuração de poços rasos. Além disso, estudos aplicados são necessários para promover de forma integrada um planejamento hídrico e ambiental eficiente.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. **Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, J. D. M.; *et al.* Escalas de Mapeamento Geomorfológico: a proposta de estilos fluviais e o planejamento de bacias hidrográficas semiáridas. **XI SINAGEO: Maringá**, 2016.

ALMEIDA, J. D. M.; (Des)conectividade da Paisagem e Compartimentação Fluvial na Bacia do Riacho Grande, Sertão Central Pernambucano. 138 folhas, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2017.

ARAÚJO FILHO, *et al.* **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2000.

BRACKEN, L. J.; TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, p. 177-188, 2015.

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Equilibrium in the balance? Implications for landscape evolution from dryland environments. **Geological Society**, London, Special Publications, v.296; p29-46, 2008.

BRIERLEY, G.; COHEN, T. FRYIRS, K.; BROOKS, A. Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia: implications for river ecology. **Freshwater Biology**, v. 41, p. 839-848, 1999.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. **Applied Geography**, 22, p. 91-122, 2002.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management Applications of the River Styles Framework**. Blackwell Publishing Ltd, 412p, 2005.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. COOK, N.; OUTHET, D.; RAINE, A.; PARSONS, L.; HEALEY, M. Geomorphology in action: linking policy with on-the-ground actions through applications of the River Styles framework. **Applied Geography**, 31, p. 1132-1143, 2011.

CHISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed. Edgard Blücher, 1º ed, São Paulo, 236p, 1999.

COLLINSON, J. D. Alluvial Sediments. In: READING, H. G. **Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy**. Blackwell Publishing, 3 Ed., 1996.

CORRÊA, A. C. B.; SILVA, F. L. M.; SOUZA, J. O. P.; AZAMBUJA, R. N.; ARAÚJO, M. S. B. Estilos Fluviais de uma Bacia de Drenagem no Submédio São Francisco. **Revista de Geografia**, UFPE – Recife, p. 181, 2009.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e Morfoestruturas do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, n 31. São Paulo. p. 35-52. 2010.

CIRILO, J. A. Políticas públicas e recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, 22 (63), 2008.

CPRM. **Mapa Geodiversidade do Estado de Pernambuco**. Brasil: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_pernambuco.pdf> Acesso em: 02/04/2017.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado de Pernambuco: diagnóstico do município de Águas Belas**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CPTEC/INPE – **Infoclima: Boletim de informações climáticas**. Ano 21, número 1, Mês de maio de 2008.

CPTEC/INPE – **Infoclima: Boletim de informações climáticas**. Ano 21, número 1, Mês de fevereiro de 2011.

CPTEC/INPE – **Infoclima: Boletim de informações climáticas**. Ano 21, número 1, Mês de março de 2011.

CPTEC/INPE – **Infoclima: Boletim de informações climáticas**. Ano 21, número 1, Mês de fevereiro de 2012.

CPTEC/INPE – **Infoclima: Boletim de informações climáticas**. Ano 21, número 1, Mês de março de 2012.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: an approach to reading the landscape**. Blackwell Publishing LTD, 1ª Ed., 2013.

EMBRAPA. **Médias mensais de precipitação do município de Águas Belas – PE**. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp> Acesso em: [15/07/2017](#).

GOUDIE, A. **Arid and Semi-Arid Geomorphology**. Cambridge University Press, 2013, 468p.

LIMA, R. N. S.; MARÇAL, M. S. Avaliação da condição geomorfológica da bacia do Rio Macaé – RJ a partir da metodologia de classificação de Estilos Fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013.

MACIEL, C.; PONTES, E. T. **Seca e Convivência com o Semiárido: adaptação ao meio e patrimonialização da Caatinga no nordeste brasileiro**. Rio de Janeiro: Consequência Editora, 192 p., 2015.

MENKE, A. B.; CARVALHO JR., O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N. Classificação pelo método K-médias das bacias de drenagem do rio Ipanema (AL/PE) considerando os atributos morfométricos. **GeoUERJ**, ano 15, nº 24, v. 2. Rio de Janeiro, 2013.

MOREIRA FILHO, J. C. C. Modelagem geográfica tridimensional na bacia hidrográfica do rio Ipanema, uma comparação entre os métodos de triangulação e inverso do quadrado da distância com o uso do SRTM. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba/PR, 2011.

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M. **Sedimentação em rios entrelaçados e anastomosados**. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1993.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Caldwell, The Blackburn Press, 1977, 337p.

SANTOS, H. G.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3ª Ed. Revisada e Ampliada. Brasília: EMBRAPA, 2013.

SILVA *et al.* **Mapa exploratório-reconhecimento de solos do município de Águas Belas, PE**. Recife: EMBRAPA, 2001. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/pe/aguasbelas.pdf>>. Acesso em: 15/07/2017.

SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J. D. M. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. **Bol. geogr.**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 134-149, 2014.

THOMSON, J. R.; TAYLOR, M. P.; FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 11, p. 373-389, 2001.

THOMSON, J. R.; TAYLOR, M. P.; BRIERLEY, G. Are River Styles ecologically meaningful? A test of the ecological significance of geomorphic river characterization scheme. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 14, p. 25-48, 2004.

TOOH, S.; NANSON, G. C. Equilibrium and non-equilibrium conditions in dryland rivers. **Physical Geography**, 21, 183-211, 2000.

TORRES, Fernanda Soares de Miranda. **Geodiversidade do Estado de Pernambuco**. Fernanda Soares de Miranda Torres e Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (org.). Recife: CPRM, 2014.

Contato com o autor: Wemerson Flávio da Silva <wemerson.fsilva@gmail.com>

Recebido em: 06/06/2018

Aprovado em: 4/03/2019