

## CAPACIDADE DE AJUSTE ÀS MUDANÇAS NO REGIME HIDROLÓGICO DE UM RIO INTERMITENTE: ESTILOS FLUVIAIS NO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA

**Jonas Otaviano Praça de Souza**

Universidade Federal da Paraíba – UFPB  
Departamento de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil  
[jonas.souza@academico.ufpb.br](mailto:jonas.souza@academico.ufpb.br)

**Alisson Santos**

Universidade Federal da Paraíba – UFPB  
Departamento de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil  
[Alissonsantos310@gmail.com](mailto:Alissonsantos310@gmail.com)

**Helder Cavalcante de Oliveira**

Universidade Federal da Paraíba – UFPB  
Departamento de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil  
[helderoliv96@gmail.com](mailto:helderoliv96@gmail.com)

### RESUMO

Intervenções antrópicas que visam mudanças, permanentes ou temporárias, no regime hidrológico de canais, alteram não só os processos fluviais, mas também podem gerar modificações nas morfologias dos canais. Desse modo, o entendimento das possibilidades de ajustes da morfologia fluvial é primordial para a análise do impacto dessas modificações, possibilitando identificar quais áreas sofreram modificações. Nesta perspectiva o artigo objetiva avaliar a capacidade de ajuste dos diferentes estilos fluviais do alto curso do rio Paraíba, no semiárido paraibano. Foi utilizada a metodologia dos estilos fluviais, pela qual foi possível caracterizar os diferentes trechos do canal e a capacidade de ajuste de cada trecho, tendo como base a morfologia/textura do canal e unidades morfológicas associadas. A partir da análise foram identificados quatro estilos fluviais, o que reflete a baixa variabilidade ambiental, destacando-se a predominância de trechos não confinados com presença de barras arenosas, os quais apresentam alta capacidade de ajuste. Dessa forma, é possível entender que predominantemente a área apresenta alta capacidade para ajustes laterais e verticais, com a possibilidade de remoção/modificação das barras arenosas. Entre as modificações possíveis destaca-se a estabilização das barras arenosas pela vegetação, possibilitando a formação de ilhas, e a expansão lateral dos canais; comportamento recorrentes para esse tipo de modificação hidrológica.

**Palavras-chave:** Estilos Fluviais. Morfologia fluvial. Semiárido. PISF. Paraíba.

### ADJUSTMENT CAPACITY TO HYDROLOGIC REGIME CHANGES IN INTERMITTENT RIVER – RIVER STYLES OF UPPER PARAIBA RIVER ON PARAÍBA SEMIARID

### ABSTRACT

Anthropogenic interventions aimed at changes, permanent or temporary, in the hydrological regime of channels alter not only fluvial processes but can also generate changes in the morphologies of channels. Thus, understanding the possibilities of adjusting the river morphology is essential for analyzing the impact of these adaptations, allowing us to identify which controlled areas were modified. In this perspective, the objective article evaluates the adjustment capacity of the different river styles of the upper course in the Paraíba semi-arid region of Paraíba. The methodology of fluvial styles was used, through which it was possible to characterize the different stretches of the channel and the adjustment capacity of each stretch based on the morphology/texture of the channel and associated morphological units. The analysis identified four river styles, reflecting the low environmental variability and highlighting the predominance of unconfined stretches with sandy bars, which have a high adjustment capacity. Thus, it is possible to understand that predominantly the area has a high capacity for lateral and vertical adjustments, with the possibility of removing/modifying the sandy bars. Among the possible modifications, the stabilization of sandy bars by vegetation stands out, allowing the formation of islands and the lateral expansion of channels, recurrent behaviour for this type of hydrological alteration.

**Keywords:** River Style. Fluvial morphology. Semiarid. PISF. Paraíba

## INTRODUÇÃO

A gestão dos rios semiáridos gira, normalmente, em torno de intervenções que visam o aumento, permanente ou temporário, no volume de água disponível para as populações, sendo os barramentos de canais as intervenções mais comuns, bem como a transferência de água bruta como transposições (SILVA, et al., 2021). Dessa forma, essas intervenções alteram diretamente o regime hidrológico desses canais, modificando a temporalidade do fluxo nos mesmos, modificando o período de intermitência e, em alguns casos, perenizando os canais (SANCHIS-IBOR, SEGURA-BELTRÁN, NAVARRO-GÓMEZ, 2018).

Essas modificações hidrológicas alteram os processos fluviais, e conseqüentemente podem gerar modificações morfológicas nos canais e nas planícies de inundação (GREGORY, 2019; SANTOS et al.; 2021). Contudo, deve-se observar que a estrutura fluvial apresenta diversidades morfológicas, de material e associações vegetais e de uso (FRYIRS e BRIERLEY, 2022). Assim, cada trecho dos canais impactados podem apresentar respostas diferentes às modificações processuais, visto que a diversidade estrutural e de uso criam capacidades de ajustes distintos (SANCHIS-IBOR, et al., 2018), em suas diferentes dimensões, laterais, verticais ou nas unidades geomórficas do canal. A capacidade de ajuste pode ser entendida como o potencial de alterações morfológicas nos canais fluviais para adaptações em relação as mudanças processuais (FRYIRS; SPINK; BRIERLEY, 2009).

Nessa perspectiva, tem-se para o semiárido brasileiro o Projeto de Integração do rio São Francisco – PISF, como uma intervenção regional a qual irá modificar o regime hidrológico de alguns dos principais canais semiáridos nos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. Ressalta-se que o PISF é composto por dois eixos de intervenções distintas, dos quais o Eixo Leste está operando no trecho final desde março de 2017, transportando água até a calha do alto curso do rio Paraíba. Modificando, assim, o regime hidrológico do Rio Paraíba entre o ponto de entrada da água, na cidade de Monteiro/PB, até o açude Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão, Paraíba.

As transposições hídricas, que consistem basicamente na transferência de águas fluviais de uma bacia hidrográfica para outra, têm como principal função atenuar os efeitos originados pela baixa oferta de água disponível em cada região (MATSUZAKI, 2007; SILVA, et al., 2021), sendo comum tanto em ambientes úmidos quanto em ambientes secos. Apesar da magnitude da obra, há pouco conhecimento sobre os impactos dessa intervenção nos canais fluviais das bacias receptoras; sendo o entendimento da capacidade de ajuste desses canais primordial para a análise dos impactos dessa intervenção. Ressalta-se que essa transferência modifica o regime hidrológico intermitente, controlado pelo mecanismo de escoamento superficial, dando um caráter antrópico se aproximando da perenização do regime hidrológico.

Assim, o presente trabalho objetiva identificar a capacidade de ajuste do alto curso do rio Paraíba indicando as possíveis modificações morfológicas para cada trecho analisado. Destaca-se que foi utilizada a metodologia de estilos fluviais (*River Styles*), possibilitando o entendimento das características e comportamento dos diferentes trechos fluviais. Ao mesmo tempo, essa metodologia possibilita criar modelos representativos (características, comportamento e capacidade de ajuste) para áreas com características ambientais semiáridas.

## CAPACIDADE DE AJUSTE EM RIOS SEMIÁRIDOS – ABORDAGEM DOS ESTILOS FLUVIAIS

Os sistemas fluviais não perenes (predominantes em ambientes secos) apresentam comportamentos com variáveis caóticas, com controle hidrológico via predominância de escoamento superficial (BRACKEN e CROKE, 2007; SOUZA e CORREA, 2019). Dessa forma, enfatize-se o comportamento não linear e não equilibrado desses sistemas, os quais devido a relação de entrada e saída de matéria e energia, preponderantemente a partir de pulsos irregulares, apresentando alta variabilidade espacial e temporal (BRACKEN e WAINWRIGHT, 2008; SACO et al., 2020).

Sabendo disso, é preciso considerar que em ambientes semiáridos, os processos fluviais expressam características bastante diferentes das encontradas nos ambientes úmidos, resultante dos regimes hidrológicos intermitentes e efêmeros. Este comportamento gera um arranjo de formas e estruturas fluviais característicos ao ambiente, indicando condições específicas de adaptação a altas variações processuais (SOUZA e ALMEIDA, 2015). Desta forma, há um predomínio de material arenoso, mal selecionado, o qual favorece uma alta capacidade de ajuste às variabilidades processuais (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; SANTOS e SOUZA, 2020).

Os distúrbios gerados a partir das intervenções antrópicas, diretos e/ou indiretos, modificam as condições limite sob as quais os processos fluviais operam. Destacam-se as intervenções que alteram o regime hidrológico dos rios, especialmente os barramentos e os projetos de transferência de água entre bacias. As modificações nos regimes hidrológicos, especialmente nos canais semiáridos com alta capacidade de ajuste (SANTOS e SOUZA, 2020), modificam amplamente a morfologia do canal bem como as características e arranjos de suas unidades geomórficas (FRYIRS; BRIERLEY, 2013).

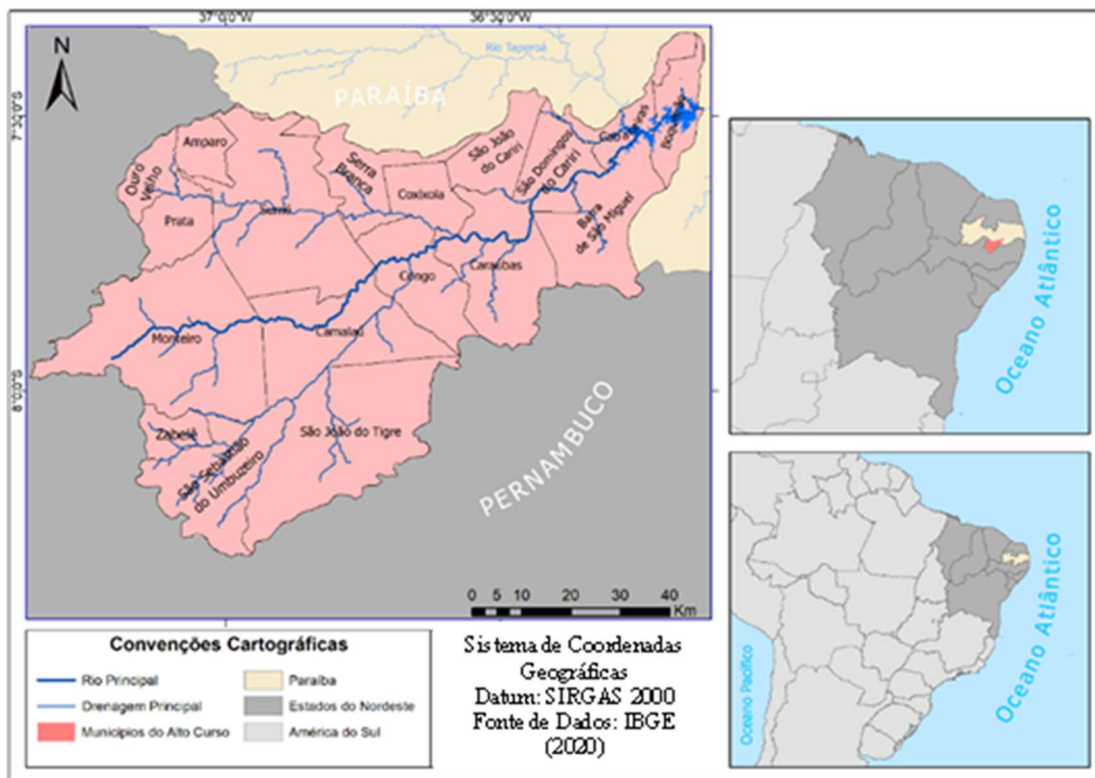
A capacidade de ajuste está intrinsecamente ligada ao comportamento do rio. Desse modo, para se analisar o comportamento fluvial é necessário considerar como os diferentes trechos de um rio se ajustam ou são capazes de se ajustar, determinando assim o regime comportamental de cada trecho fluvial. Os rios, portanto, podem se ajustar o tempo todo às variações intrínsecas e extrínsecas aos processos hidrológicos e sedimentológicos (RODRIGUES e SOUZA, 2021). Esses ajustes podem ser de três tipos: vertical, lateral e geral. O primeiro aponta para a dinâmica vertical do rio quanto ao seu entalhamento; o ajuste lateral diz respeito à capacidade que o canal tem de alterar as suas margens; e o terceiro, por fim, refere-se à taxa de alteração na posição e forma do canal, incluindo alterações nas unidades geomórficas associadas ao canal ou a planície de inundação. Assim, com a análise dos ajustes vertical, lateral e geral é possível estabelecer o regime comportamental de cada trecho. Ressalta-se que trechos com baixa capacidade de ajuste, o que é comum em trechos com leito e margem rochosa, não necessariamente irão apresentar mudanças morfológicas após modificações processuais (FRYIRS; SPINK; BRIERLEY, 2009; FRYIRS e BRIERLEY, 2022).

Uma abordagem adequada para a identificação da capacidade de ajuste é a metodologia dos Estilos Fluviais, a qual consiste na classificação dos trechos fluviais em classes que apresentam características e comportamento homogêneos, visando o entendimento da dinâmica de um rio (BRIERLEY e FRYIRS, 2005, 2022; FRANCO et al., 2022). A abordagem dos estilos fluviais fornece um modelo morfológico-processual onde, dentro do contexto da bacia, são avaliadas as relações temporais e espaciais dos processos biofísicos. Desse modo, é possível acessar a capacidade de ajuste de cada Estilo Fluvial, representativo, a determinadas modificações processuais e/ou morfológica, como por exemplo a alteração do regime hidrológico gerada pelo PISF.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

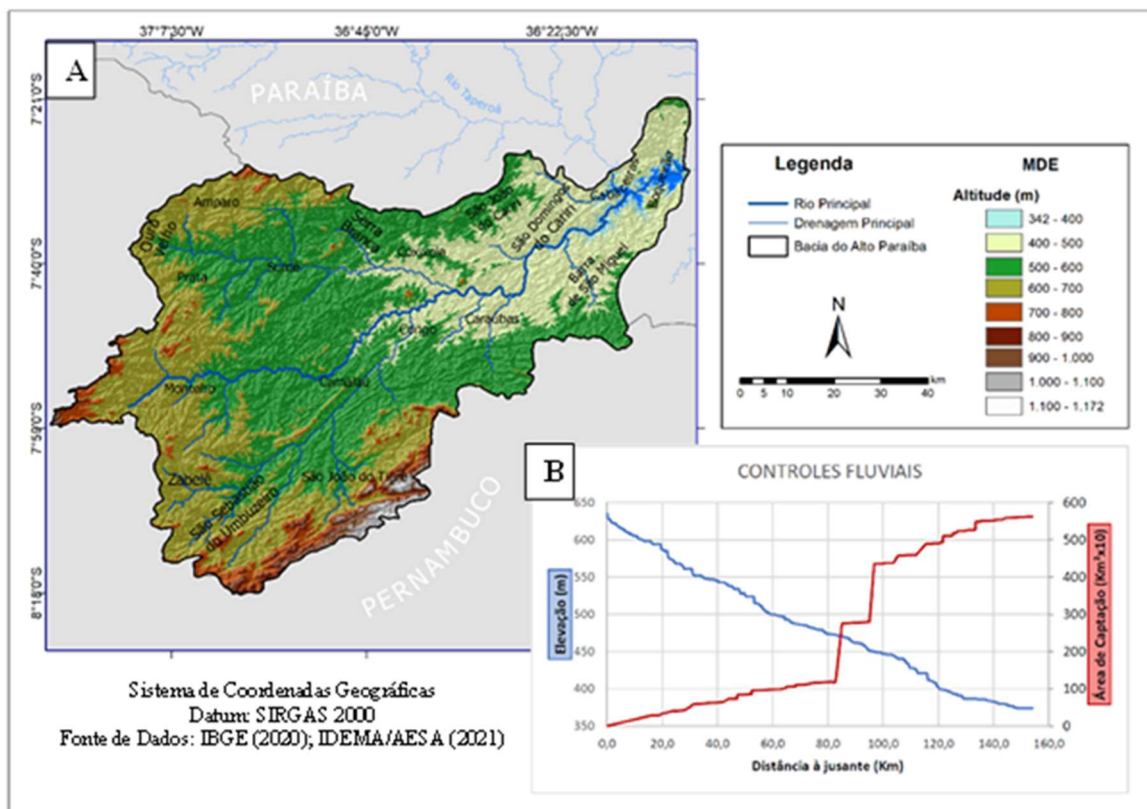
O Alto Curso do rio Paraíba localiza-se no centro sul do estado da Paraíba (Figura 1), sobre o Planalto da Borborema. De acordo com a compartimentação morfoestrutural deste planalto (CORRÊA et al, 2010), a bacia do alto curso do rio Paraíba está inserida entre os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, nas suas cabeceiras mais elevadas ao sul, e a Depressão Intraplanáltica Paraibana (Figura 2). Apresenta um relevo predominantemente pedimentar, sustentado em litologias de complexos metamórficos com a presença de unidades residuais, como cristas e inselbergs, em litologias mais resistentes, como granitoides. As áreas de cabeceira mais elevadas, especialmente as áreas ao sul, apresentam escarpas íngremes e topo plano.

Figura 1 - Alto Curso do rio Paraíba: Mapa de localização.



Fonte - IBGE, 2020. Organização: os autores.

Figura 2 - Alto Curso do rio Paraíba: A - Modelo Digital de Elevação . B- Perfil Longitudinal.



Fonte - IBGE, 2020; IDEMA/AESA, 2021. Organização: os autores.

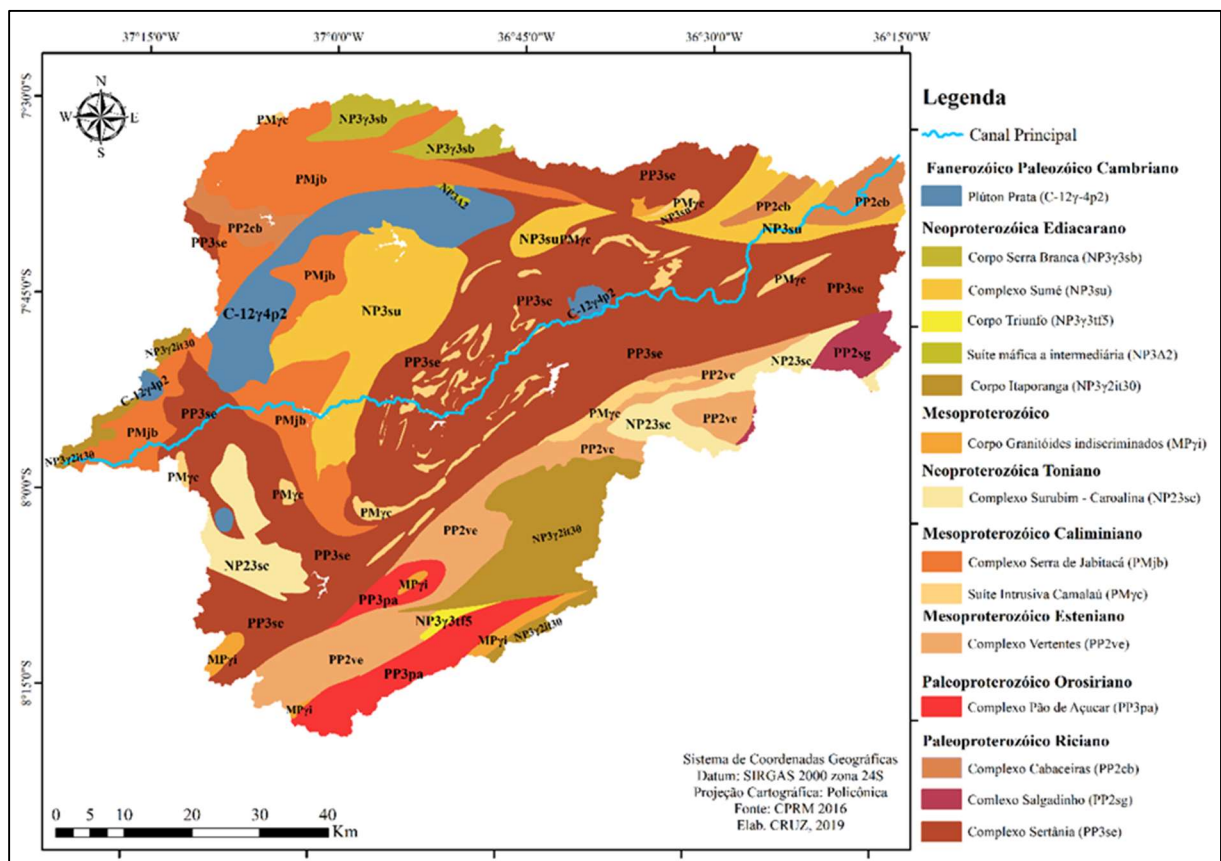


O alto curso é definido pelo trecho desde suas nascentes até o açude Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão, tendo aproximadamente 6717 km<sup>2</sup> de área de captação. Ressalta-se que se trata da região mais seca do estado da Paraíba, chegando a precipitações médias anuais abaixo dos 400 mm, como é o caso do município de Cabaceiras.

Devido a se inserir em uma região semiárida, os solos presentes possuem um grau de evolução limitado em termos de profundidade e estrutura, visto a baixa disponibilidade de água e limitada cobertura vegetal (COOKE e WARREN, 1973). A predominância de Neossolos e Luvisolos indica uma menor tendência à formação e desenvolvimento de regolito. Quanto a vegetação, limitações edáficas, baixos índices pluviométricos, temperaturas médias elevadas e acentuado déficit hídrico (SOUZA, 2008) condicionaram a configuração fitogeográfica atual, predominantemente Caatinga hiperxerófila, esparsa e adaptada aos períodos prolongados de seca.

Observa-se, no gráfico do perfil longitudinal, que apesar da bacia apresentar altitudes superiores a 1100 metros, as cabeceiras do canal principal encontram-se na faixa dos 650 metros, apresentando pouca variação em seu perfil longitudinal, resultado da baixa variabilidade ambiental, especialmente da relação clima-geologia. Os maiores *knickpoints* observados (entre 20 e 40 km; próximo dos 60 km; e próximo dos 120 km) estão relacionados com a mudança litológica dos complexos metamórficos (Figura 3) (como o Complexo Sertânia e Sumé) passando por suítes intrusivas (como a Suíte Camalaú e Suíte Prata). Devido ao aumento do gradiente, esses trechos do canal tendem a ter mais energia, e conseqüentemente há uma menor possibilidade de acúmulo de sedimento. Outros dois trechos relevantes são os trechos de confluência do Rio Paraíba com os seus dois principais afluentes, o que pode ser observado no gráfico de área de acumulação nos trechos onde há o aumento repentino da área de captação.

Figura 3 - Alto Curso do rio Paraíba: Mapa geológico.



Fonte - CPRM, 2016. Organização: os autores.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do presente trabalho foi realizado em dois momentos, inicialmente a partir da classificação e caracterização dos estilos fluviais, e posteriormente na avaliação da capacidade de ajuste para cada estilo encontrado.

Após a identificação das características regionais da área, e da análise dos controles fluviais, como perfil longitudinal e área de captação, foi possível a partir de sensoriamento remoto e trabalho de campo o entendimento da diversidade fluvial do alto curso do rio Paraíba, indicando, assim, os estilos fluviais a partir de quatro parâmetros: configuração de vale; organização em planta do ambiente fluvial; textura do material de leito; e presença de unidades geomórficas no canal e na planície de inundação.

A classificação inicial deu-se pela configuração do vale (confinado, semiconfinado ou não confinado), característica que indica o comportamento de extravasamento do fluxo, e conseqüente formação de planície de inundação. Deste modo, a identificação do grau de confinamento dá-se a partir da identificação da existência ou não de planícies de inundação, sendo isto realizado a partir da análise de imagens disponíveis no Google Earth, e confirmação em campo, realizando o mapeamento na escala de 1:25.000

Posteriormente os trechos analisados foram abordados a partir de sua planta, visando identificar o número de canais, o grau de sinuosidade e as características de margem; simetria, assimetria, etc. (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Esta etapa teve seu trabalho concentrado na análise morfológica do canal a partir de das imagens disponíveis no Google Earth, sendo as informações validadas em campo. A análise da textura do material do leito visou a complementação da avaliação em planta, e indica as características como competência e capacidade do fluxo no trecho. Essa análise foi realizada em campo a partir da análise manual utilizando o diagrama de Thien, sendo realizados em 21 trechos, para cada unidade geomórfica identificada (CAVALCANTI, 2014).

Por fim, foram analisadas, a partir dos dados das imagens e de campo, as unidades geomórficas associadas ao canal e à planície de inundação, identificando entre outros elementos sua textura, seu processo formador e a presença de vegetação associada. A partir da junção dessa informação com os outros indicadores foi possível entender o comportamento de formação e da dinâmica de cada um dos trechos analisados. Sendo analisado para cada estilo, as características morfológicas, o comportamento do trecho e os controles fluviais predominantes.

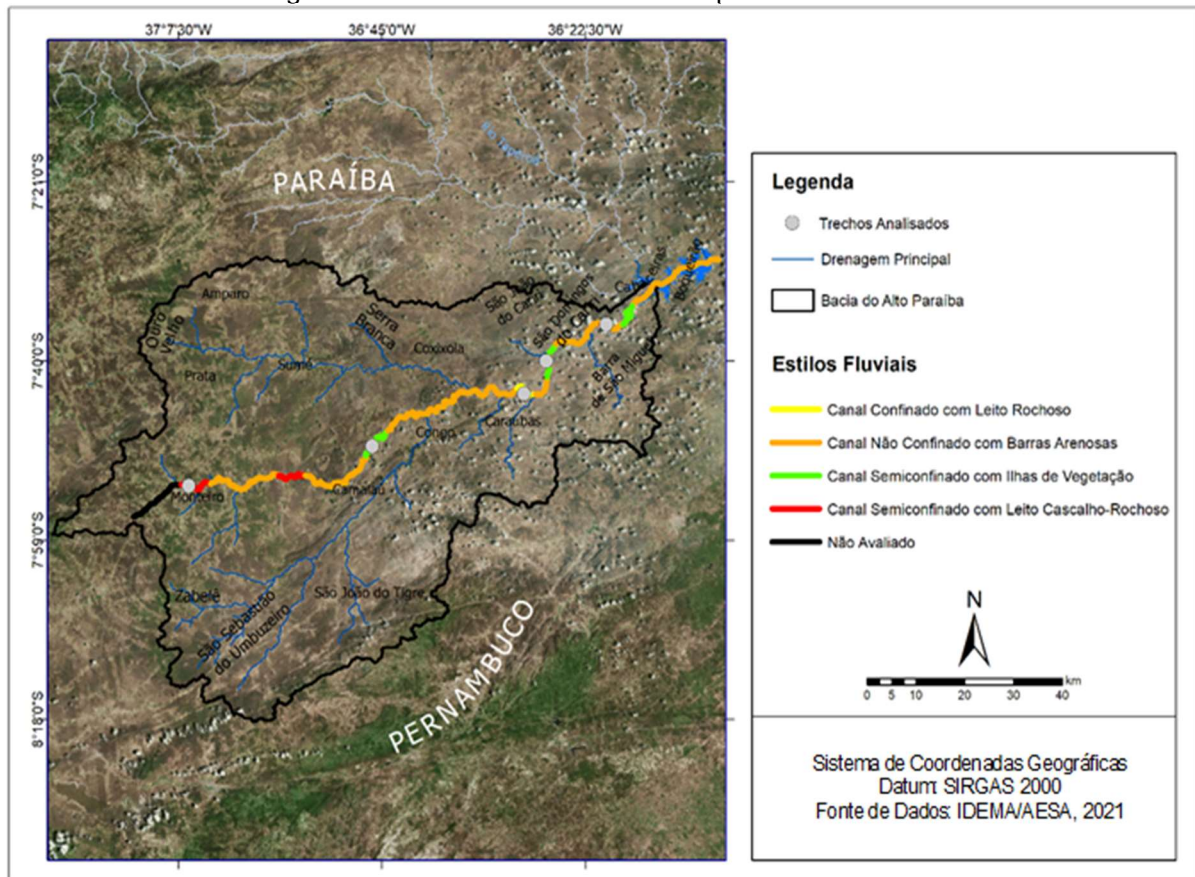
A partir da classificação dos estilos fluviais foi possível avaliar a capacidade de ajuste para cada um dos modelos representativos da diversidade fluvial. Para tal foi utilizado alguns geoindicadores (BRIERLEY e FRYIRS, 2005), tais como textura de margem e de leito; vegetação associada a margem e as unidades geomórficas; possíveis mecanismos de modificações laterais e verticais, tais como migração de meandro e expansão lateral (FRYIRS; SPINK; BRILERY, 2009). Novamente, a análise da textura foi realizada em campo a partir do diagrama de Thien. Com relação à vegetação, foi levada em consideração sua fitofisionomia, onde as plantas foram classificadas como: herbáceas (não possuem lenho), arbustivas (não possuem tronco principal e ramificam a partir da base) e arbóreas (possuem tronco principal) (CAVALCANTI, 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como colocado anteriormente, a baixa variabilidade dos elementos ambientais condiciona uma baixa diversidade fluvial, visto que todo o canal do alto curso do rio Paraíba se situa em uma unidade pedimentar com baixa declividade e vales amplos. Desse modo, há a predominância de trechos não confinados, contudo, de forma geral, as planícies de inundação são estreitas, dificilmente superando 10 metros de largura, contudo com trechos isolados alcançando 100 metros. O elemento gerador de diversidade fluvial são os trechos de transições litológicas, especialmente quando o canal corta litologias mais resistentes, como os afloramentos de granitoides da Suíte intrusiva Camalaú. Nesses pontos há a presença de afloramentos controlando a dinâmica vertical e/ou lateral dos canais, sendo esses estilos restritos a curtos trechos, os quais podem ser identificados como os *knickpoints* observados no perfil longitudinal do canal (Figura 2).

Desse modo, foram identificados quatro Estilos Fluviais (Figura 4), que serão discutidos a seguir e sendo eles: Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), Canal Semiconfinado com Ilhas de Vegetação (CSIV) e Canal Não Confinado com Barras Arenosas (CNCBA).

Figura 4 - Alto Curso do rio Paraíba: Mapa de estilos fluviais.



Fonte - IDEMA/AESA, 2021. Organização: os autores.

Seguindo a metodologia dos estilos fluviais foi possível selecionar e avaliar as características, o comportamento e os principais controles para cada um dos estilos (Quadro 1 e Figura 5). Entre as características morfológicas analisadas destaca-se, para a posterior análise da capacidade de ajuste, a textura do leito e das margens. Bem como, a presença de unidades geomórficas sedimentares, como as barras arenosas.

Sobre o comportamento, vale ressaltar, que está sendo controlado pelo funcionamento do PISF, apresentando uma vazão média normalmente abaixo dos  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , para a estação fluviométrica Caraúbas (Lat.  $-7.7211$ , Long.  $-36.5053$ ), diferente do período pré-PISF no qual durante o período seco predominantemente não havia vazão superficial. Por outro lado, os momentos de vazão moderada e alta, o controle dá-se pela relação chuva-descarga na bacia hidrográfica, alcançando valores acima dos  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

O trecho de Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR), está restrito a um trecho onde o canal corta uma série de afloramentos de granitoides, os quais atuam como soleiras rochosas (Figura 4-A). Desse modo, o controle litológico, predominantemente granitoides das Suíte Intrusiva Camalau. Sendo o trecho caracterizado por margens e leito de morfologia irregular, apresentando uma sequência de soleiras e depressões e corredeiras, o que resulta no gradiente mais elevado de todo o canal, cerca de  $14 \text{ m}/\text{km}$ .

Assim, esse trecho representa a área de maior energia em todo alto curso do Rio Paraíba. Além do alto gradiente, o confinamento do vale impede o espriamento do fluxo nos eventos de alta magnitude, concentrando toda a energia em um perfil lateral restrito. Dessa forma, a competência e capacidade de transporte são elevadas, sendo capaz de remobilizar cascalho, e, durante os eventos de alta magnitude, mover material mais grosseiro. Apesar da alta energia, devido a composição rochosa da margem e do leito, o trecho não apresenta alta taxa erosiva, caracterizando-se por predominar o transporte nessa área.

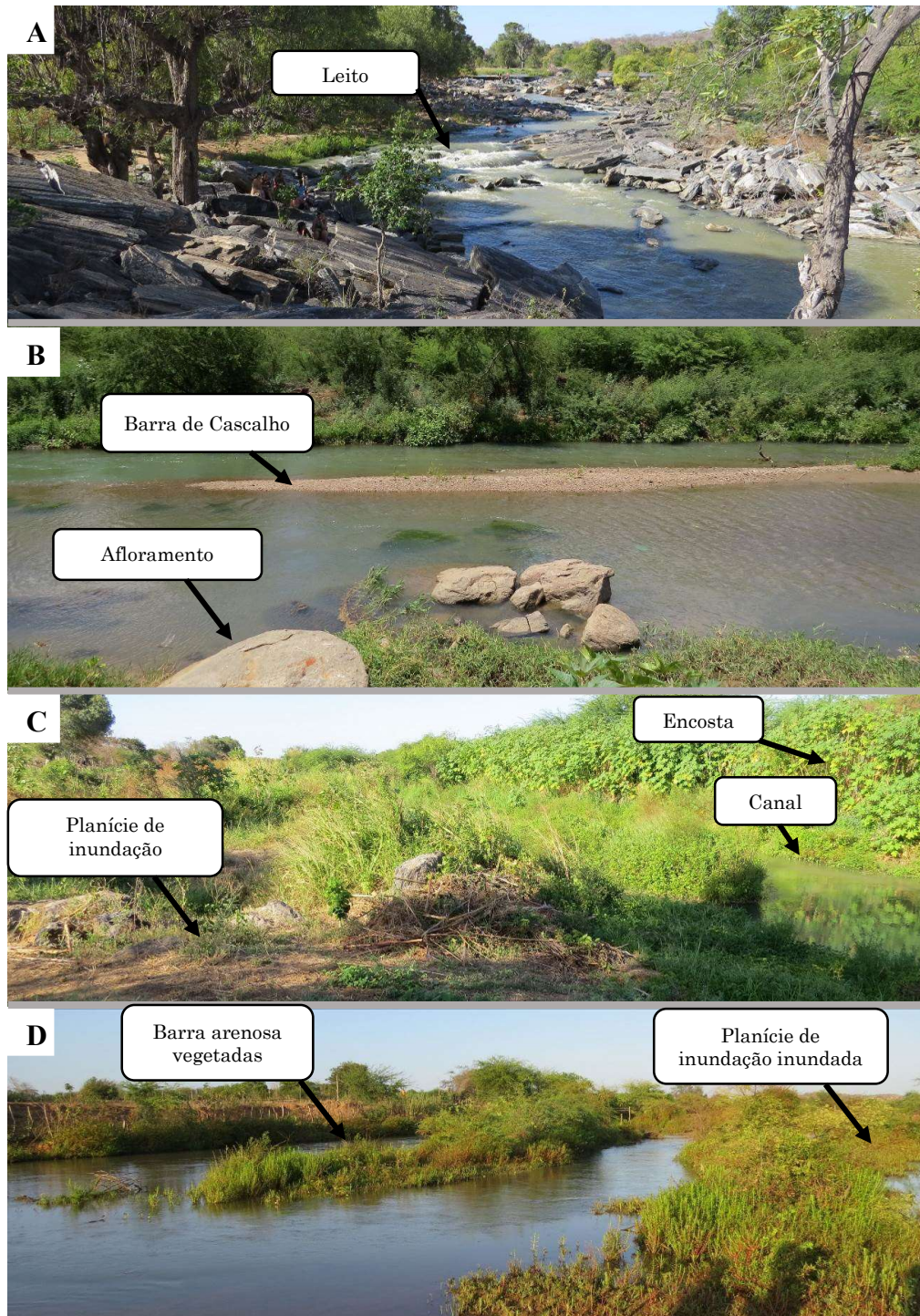
Quadro 1 - Estilos Fluviais, suas características e seu comportamento. CCLR – Canal Confinado com Leito Rochoso; CSLCR – canal semiconfinado com leito cascalho-rochoso; CSIV – Canal semiconfinado com ilhas vegetadas; e CNCBA – Canal não confinado com barras arenosas.

Estilo Fluvial	CCLR	CSLCR	CSIV	CNCBA
<b>Características morfológicas</b>				
<b>Configuração do vale</b>	Confinado	Semiconfinado	Semiconfinado	Não confinado
<b>Configuração em planta</b>	Canal único, com margens e leito irregular	Presença de canal secundário em trechos isolados, margens irregulares	Presença de canal secundário, margens e leito irregulares	Canal entrelaçado com margens simétricas e baixa sinuosidade
<b>Textura do material de leito</b>	Rochoso	Areno-rochoso	Arenoso	Arenoso
<b>Unidades Geomórficas</b>	Soleiras e depressões	Barras Cascalho arenosas	Ilhas vegetadas e soleira rochosas isoladas	Barras arenosas e Planície de inundação
<b>Vegetação associada</b>	Vegetação arbórea-arbustiva degradada	Vegetação arbustiva-arbórea degradada ou Pasto	Vegetação arbustiva degradada	Vegetação arbustiva-arbórea degradada ou cultivo irrigado
<b>Comportamento do canal</b>				
<b>Comportamento – vazão baixa</b>	Baixo nível de água controlada pela operação do PISF. Transporte de areia fina	Baixo nível de água controlada pela operação do PISF. Movimentação de sedimentos finos	Baixo nível de água controlada pela operação do PISF. Movimentação de sedimentos finos	Baixo nível de água controlada pela operação do PISF. Movimentação de sedimentos finos
<b>Comportamento – vazão moderada</b>	Nível de água chega no limite do canal, cobrindo a maior parte das soleiras rochosos. Transporte de cascalho, baixa capacidade erosiva	Nível de água chega no limite das barras, podendo encobri-las. Controle hidrológica da estação chuvosa. Transporte de material arenoso, baixa capacidade erosiva	Nível de água chega no limite das margens, podendo encobri-las. Controle hidrológica da estação chuvosa. Transporte de material arenoso, média capacidade erosiva	Nível de água chega no limite superior das barras, podendo encobri-las. Controle hidrológica da estação chuvosa. Transporte de material arenoso, baixa para média capacidade erosiva
<b>Comportamento – vazão alta</b>	Nível de água cobre todas as soleiras rochosas, continua confinada no canal. Transporte de material grosseiro, inclusive pequenos blocos	Nível de água extravasa, inundando as planícies descontínuas. Controlado por chuvas intensas regionais ou eventos extremos. Média capacidade erosiva e de transporte	Nível de água extravasa, inundando as planícies descontínuas. Controlado por chuvas intensas regionais ou eventos extremos. Alta capacidade erosiva e de transporte	Nível de água extravasa o canal inundando a área da planície de inundação. Normalmente resultados de chuvas intensas regionais ou eventos extremos. Média capacidade de transporte e erosiva
<b>Controles fluviais</b>				
<b>Zona processual</b>	Zona de transporte	Zona erosiva e de transporte	Zona de transporte	Zona de deposição
<b>Competência de fluxo</b>	Areia grossa e cascalho	Predomínio de areia grossa	Predomínio de areia grossa	Predomínio de finos e areia fina

Fonte - Autores



Figura 5 - Unidades Geomórficas dos estilos fluviais. A – Canal Confinado com Leito Rochoso; B – canal semiconfinado com leito cascalho-rochoso; C – Canal semiconfinado com ilhas vegetadas; e D – Canal não confinado com barras arenosas.



Fonte - Autores.

Os trechos classificados como Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso (CSLCR), também têm sua distribuição controlada pela alternância litológica, e alterna áreas com afloramentos no leito com trechos de cascalho (Figura 4-B). Sendo comum, inclusive, a formação de barras predominantemente de cascalho, que, por terem uma estabilidade relativa, normalmente são colonizadas pela vegetação, atuando como um fator de retroalimentação para a estabilidade. As planícies de inundação, ocorrem de forma descontínua, sendo alternadas por margens rochosas, sendo pouco expressivas e estreitas.

A morfologia e textura observada nesses trechos atestam a alta competência para transporte, permanecendo no canal predominantemente sedimentos grosseiros como cascalho. Ao mesmo tempo, a presença de planícies de inundação descontínuas indica pontos onde há o extravasamento do fluxo, e pela textura areno-argilosa indica a diminuição da energia nesses pontos. Essa diminuição é diretamente controlada pelas irregularidades da margem do canal, gerando áreas de dispersão do fluxo, e conseqüentemente possibilitando a deposição de material mais fino.

Também foi identificado outro Estilo semiconfinado, os Canais Semiconfinados com Ilhas Vegetadas (CSIV), os quais se localizam em alguns trechos meandantes do canal principal. Sendo indiretamente controlados pela geologia, visto que o elemento controlador para a presença dos meandros é o posicionamento de unidades topográficas mais elevadas, as quais obrigam o vale fluvial a mudar de direção. Esse Estilo apresenta uma geometria que vai da assimétrica para trechos com geometria irregular (nas áreas com presença de afloramentos); a alternância de planície de inundação e encosta, por vezes rochosa, em suas margens. Ressalta-se que as planícies nesses trechos são mais amplas que no estilo CSLCR), por vezes alcançando algumas dezenas de metros de largura, sendo inclusive exploradas para mineração de areia em alguns pontos, o que pode afetar não só a dinâmica sedimentológica e morfológica quanto a hidrológica. Outro ponto relevante é a presença de ilhas vegetadas (Figura 4-C) as quais dividem o fluxo, ocorrendo, deste modo, a presença de canais secundários. Possivelmente essas ilhas evoluíram a partir da estabilização de barras arenosas, inclusive, como observado em campo, barras associadas a afloramentos rochosos.

As características morfológicas desse estilo indicam a variação da energia em seus perfis laterais, apresentando a alternância clara de margens erosivas e deposicionais. Pela textura arenosa do leito predomina o transporte de areias, contudo ressalta-se que durante eventos de alta magnitude o potencial erosivo é alto, especialmente devido à presença das irregularidades de leito e margens geradas pelos afloramentos rochosos. Essas irregularidades atuam aumentando a turbulência do fluxo potencializando o efeito erosivo do mesmo, o que pode ser observado em campo com a associação da presença dos afloramentos e sinais de erosão a jusante dos mesmos.

Por fim, o Estilo Fluvial predominante para o alto curso do rio Paraíba são os classificados como Canal Não-Confinado com Barras Arenosas (CNCBA), os quais apresentam planícies de inundação contínuas em ambas as margens, inclusive com centenas de metros de largura em alguns trechos mais planos. Nesses trechos predomina a geometria simétrica das margens e a presença de barras arenosas (Figura 4-D), possibilitando a formação de canais múltiplos, indicando uma morfologia entrelaçada. Diferentes dos Estilos anteriores há a presença de areia fina no leito, e as margens e planícies de inundação apresentam maior percentual de sedimentos finos.

Por essas características, especialmente texturais, nota-se que esses trechos são as áreas de menor energia no canal, com predominância de transporte de areia fina e sedimentos em suspensão. Inclusive durante os eventos de alta magnitude o fluxo extravasa e inunda as planícies de inundação, aumentando a secção lateral e diminuindo a energia específica, e conseqüentemente o potencial erosivo. Dessa forma, o processo deposicional é predominante nesses trechos.

A capacidade de ajuste foi avaliada separadamente para cada um dos estilos fluviais encontrados, e teve como base as características e o comportamento de cada um dos Estilos, além de outros geoindicadores. Entre as possibilidades de modificações laterais, pelas características dos Estilos não foi observada a possibilidade de migração de meandros, visto que os Estilos meandantes apresentam planícies descontínuas e estreitas, impossibilitando a migração de meandros. Desse modo, a possibilidade de alteração lateral fica restrita à expansão lateral e remoção das planícies de inundação descontínuas; por outro lado há a possibilidade de modificações verticais nos canais e possibilidade de modificações nas unidades geomórficas deposicionais.

Desse modo, foi identificada a capacidade de ajuste para os quatro Estilos (Quadro 2), levando em consideração as possibilidades de ajuste lateral (expansão lateral e remoção de planície de inundação descontínua), vertical (incisão vertical) e ajustes nas unidades geomórficas associadas aos canais (barras e ilhas). Ressalta-se que a capacidade de ajuste indica a possibilidade de modificação morfológica visando a adaptação a alguma modificação processual e/ou eventos extremos isolados.



Quadro 2 - Capacidade de Ajuste dos Estilos Fluviais do alto curso do Rio Paraíba. CCLR – Canal Confinado com Leito Rochoso; CSLCR – canal semiconfinado com leito cascalho-rochoso; CSIV – Canal semiconfinado com ilhas vegetadas; e CNCBA – Canal não confinado com barras arenosas.

	<b>CCLR</b>	<b>CSLCR</b>	<b>CSIV</b>	<b>CNCBA</b>
<b>LATERAL</b>	Baixa	Variável	Variável	Alta
<b>VERTICAL</b>	Baixa	Baixa	Alta	Alta
<b>UNIDADES GEOMÓRFICAS</b>	Baixa	Variável	Variável	Alta
<b>OBSERVAÇÕES</b>	O aspecto rochoso controla a baixa capacidade de ajuste	A capacidade de ajuste variável está relacionada aos pontos onde há a presença de margens não rochosas, bem como para as barras com maior percentual de areia	A capacidade de ajuste lateral variável está relacionada com a alternância de material das margens. Já para as unidades, está relacionado a presença de rochosidades nas ilhas	A predominância de areia controla a alta capacidade de ajuste lateral, vertical e das barras

Fonte - Autores.

Inicialmente o Estilo de Canal Confinado com Leito Rochoso (CCLR) apresenta baixa capacidade de ajuste devido ao controle litológico de suas margens e leito. O mesmo ocorre parcialmente no Estilo de Canal Semiconfinado com Leito Cascalho-Rochoso, havendo possibilidade de ajustes nos pontos de planície descontínua, com a possibilidade de expansão lateral e/ou remoção da unidade. Além disso, há a possibilidade de ajuste nas barras cascalho-arenosas, podendo haver a estabilização a partir da vegetação, e a possibilidade de formação de ilhas e mudanças texturais. Ao mesmo tempo, há a possibilidade de erosão e remoção das barras com maior percentual arenoso, e consequentemente mais susceptíveis a erosão.

O Estilo de Canal Semiconfinado com Ilhas Vegetadas (CSIV) exibe uma maior capacidade de ajuste morfológico, tanto por apresentar leito arenoso instável, quanto pela presença de margens e unidades deposicionais. A presença de afloramentos rochosos é pontual nesse Estilo, predominando margens de deposição aluvial ou com material pedogenético, os quais apresentam maior possibilidade erosiva, e consequentemente de expansão lateral do canal, podendo gerar a remoção de planícies de inundação descontínuas. Por outro lado, as ilhas podem se ajustar a partir do aumento da deposição, consequentemente sua expansão, ou a partir de processos erosivos, consequentemente sua diminuição. O nível de estabilidade do material sedimentar é preponderante no controle desses processos, sendo que as ilhas associadas a afloramentos rochosos são mais resistentes à erosão e mais passíveis de expansão. Ao mesmo tempo, caso ocorra expansão das ilhas esse processo atua diminuindo o perfil lateral disponível para o fluxo aumentando sua energia específica, potencializando o efeito de expansão lateral das margens.

Por fim, o Estilo de Canal Não-Confinado com Barras Arenosas proporciona a maior capacidade de ajuste do canal principal, visto que a predominância de material sedimentar arenoso nas margens, leito e unidades, é susceptível à remobilização. A própria característica de entrelaçamento está relacionada com a mobilidade dos elementos sedimentares no canal, havendo modificações morfológicas recorrentes, especialmente com a mobilidade das barras arenosas e do posicionamento dos canais no vale. Em relação às barras arenosas, ressalta-se a possibilidade, além da erosão e migração das mesmas, de estabilização pela vegetação com a possibilidade de modificação textural e transformação dessas barras em ilhas. A possibilidade de colonização e estabilização por vegetação está diretamente relacionada com a mudança do regime hidrológico gerada pela operação do PISF, visto que a disponibilidade de umidade durante todo o ano nessas unidades deposicionais possibilita um habitat adequado para a estabilização da vegetação. Esse processo, pode ser observado em campo, com a presença de vegetação nas barras arenosas, mesmo durante o período de seca, durante o qual antes da operação do PISF essas unidades eram desprovidas de vegetação e consequentemente mais susceptíveis a erosão e remobilização.

Observa-se que a presença de vegetação é elemento controlador das possibilidades de ajuste para três dos estilos analisados, especialmente na estabilização a unidades geomórficas de canal. Contudo, a análise da

vegetação associada ao canal do alto curso do rio Paraíba aponta para uma generalizada degradação com baixa presença de vegetação arbórea e/ou arbustiva, aumentando a possibilidade erosiva das margens.

A operação do PISF modifica o regime hidrológico fazendo com que o canal apresente fluxo não apenas durante a temporada chuvosa. O aporte de água do PISF por si não gera vazão suficiente para gerar erosão, controlando apenas os eventos de baixa magnitude; contudo ele afeta diretamente e indiretamente a presença de vegetação associadas ao ambiente fluvial. Diretamente ela possibilita o aumento da densidade da vegetação associada ao canal e suas unidades geomórficas, relacionado com o aumento da umidade, consequentemente atuando para a estabilização dessas unidades (SANTOS, et al., 2021). E indiretamente, nos trechos agriculturáveis o maior aporte de água possibilita a expansão da atividade agrícola nas planícies de inundação e margens, o que pode gerar a remoção da vegetação nativa residual e o aumento da susceptibilidade a erosão dessas áreas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança de regime hidrológico no alto curso do rio Paraíba gerada pela operação do PISF apresenta grande potencial para gerar mudanças morfológicas na maior parte do canal, o que pode ser constatado pela análise da capacidade de ajuste. O aumento da vazão no canal e o predomínio de trechos não confinados arenosos possibilita ajustes de aumento de incisão vertical, bem como na estabilização de barras e expansão de ilhas associado a erosão das margens e expansão lateral do canal.

A presença de vegetação torna-se fator controlador da expansão lateral dos canais e erosão de áreas agriculturáveis, como planícies de inundação. Dessa forma, a recuperação e manutenção da vegetação ciliar é preponderante para a estabilidade lateral do canal; visto que a tendência é que haja a estabilização de barras e expansão de ilhas gerando um aumento na energia específica e consequentemente na pressão erosiva lateral nos estilos com esse comportamento.

A análise da capacidade de ajuste associada com a classificação de estilos fluviais demonstrou-se como um modelo adequado e eficiente para o entendimento do comportamento atual e da análise de tendências de mudanças para os canais. Desse modo, torna-se urgente a inserção desse tipo de análise na gestão ambiental e na identificação de impactos, possibilitando, assim, um melhor entendimento do comportamento ambiental dos ambientes fluviais semiáridos submetidos a mudanças ambientais naturais e antrópicas.

## REFERÊNCIAS

- BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological processes**. n. 21, p. 1749-1763, 2007 <https://doi.org/10.1002/hyp.6313>
- BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Equilibrium in the balance? Implications for landscape evolution from dryland environments. **Geological Society**, London, Special Publications, v. 296, p.29-46, 2008. <https://doi.org/10.1144/SP296.3>
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. **Geomorphology and river management**: applications of the river styles framework. Blackwell Publishing. 2005.
- CAVALCANTI, L. C. de S. **Cartografia de paisagens**: fundamentos. São Paulo, Oficina do Texto, 2014.
- COOKE, R. U.; WARREN, A. **Geomorphology in deserts**. London: Batsford, 1973. <https://doi.org/10.1525/9780520329584>
- CORRÊA, A. C. de B.; TAVARES, B. de A. C.; MONTEIRO, K. de A.; CAVALCANTI, L. C. de S.; LIRA, D. R. de. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, p. 35-52, 2010.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geodiversidade do estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2016.
- FRANCO, V. V.; LIMA, V. F.; SOUZA, J. O. P. Caracterização de estilos fluviais no alto e médio curso da bacia hidrográfica do Piancó, ambiente semiárido da Paraíba. **Cadernos de Geociências**, v. 15, p. e-221506-e-221506, 2022. <https://doi.org/10.9771/geocad.v15i0.44394>



FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013. <https://doi.org/10.1002/esp.5264>

FRYIRS, K.; BRIERLEY, G. Assemblages of geomorphic units: A building block approach to analysis and interpretation of river character, behaviour, condition and recovery. **Earth Surface Processes and Landforms**, 47(1), 92– 108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5264>

FRYIRS, K.; SPINK, A.; BRIERLEY, G. Post-European settlement response gradients of river sensitivity and recovery across the upper Hunter catchment, Australia. **Earth surface processes and landforms**. John Wiley & Sons, 2009.

GREGORY, K. J. Human influence on the morphological adjustment of river channels: The evolution of pertinent concepts in river science. **River Research Applications**. 2019; 35: 1097– 1106. DOI: <https://doi.org/10.1002/rra.3455>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base cartográfica vetorial contínua do Brasil ao milionésimo – BCIM**. 2020.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **GeoPortal**. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>. Acesso em: 20 jun. 2021.

MATSUZAKI, M. **Transposição das águas do Braço Taquacetuba da represa Billings para a represa Guarapiranga: aspectos relacionados à qualidade de água para abastecimento**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública da USP: São Paulo, 2007.

RODRIGUES, J. M.; SOUZA, J. O. P. Propensão à modificação de rios a partir da sensibilidade de estilos fluviais em uma bacia hidrográfica no semiárido da Paraíba (Brasil). **Caminhos de Geografia (UFU. Online)**, v. 22, p. 292-313, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228256049>

SACO, P. M. et al. Using hydrological connectivity to detect transitions and degradation thresholds: Applications to dryland systems. **Catena**, vol. 186, 2020, 104354.

SANCHIS-IBOR, C.; SEGURA-BELTRÁN, F.; NAVARRO-GÓMEZ, A. Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain). **River Research Applications**. 2018; 35: 37– 47. <https://doi.org/10.1002/rra.3381>

SANTOS, C. J. da S. ; SOUZA, J. O. P. de . Análise da estabilidade lateral em trechos fluviais da bacia riacho do tigre, semiárido paraibano. **Caminhos de Geografia (UFU. Online)**, v. 21, p. 15-33, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217542320>

SANTOS, C.; MARTINS, L.; CRUZ, K.; SOUZA, J. O. P. de. Riparian Vegetation Dynamic and River Stability on Intermittent Rivers: Impact of Water Transfer Project on Tropical Drylands. In: EGU GENERAL ASSEMBLY 2021, online, 19–30 abr. 2021. EGU21-13485, 2021. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13485> .

SILVA, J. F.C. B.da C et al. Analysis of the response of the Epitácio Pessoa reservoir (Brazilian semiarid region) to potential future drought, water transfer and LULC scenarios. **Natural Hazards** 108, 1347–1371 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04736-3>

SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2008.

SOUZA, J. O. P. de.; ALMEIDA, J. D. M. Processos fluviais em terras secas: uma revisão. **Revista OKARA**, Geografia em Debate, v. 9, n. 1, p. 108-122, 2015. ISSN: 1982-3878 João Pessoa, PB, D GEOC/CCEN/UFPB, 2015.

SOUZA, J. O. P. de; CORRÊA, A. C. B. Escoamento superficial e balanço hídrico em ambientes secos com topografia complexa - Cacia do riacho do saco - Pernambuco. **Geographia (UFF)**, v. 21, p. 106-119, 2019. <https://doi.org/10.22409/GEoGraphia2019.v21i46.a14159>

---

Recebido em: 24/02/2023

Aceito para publicação em: 07/06/2023