

EFEITOS DAS CHEIAS SOBRE A MORFOLOGIA DO CANAL EM UMA DRENAGEM EFÊMERA: CASO DE ESTUDO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

*EFFECTS OF FLOODS ON CHANNEL MORPHOLOGY IN AN EPHEMERAL
DRAINAGE: CASE STUDY IN THE SEMI-ARID BRAZILIAN NORTHEAST*

*EFFECTOS DE LAS INUNDACIONES SOBRE LA MORFOLOGÍA DEL CANAL EN UN
DRENAJE EFÍMERO: ESTUDIO DE CASO EN EL SEMIÁRIDO DEL NORESTE
BRASILEÑO*

OSCAR VICENTE QUINONEZ FERNANDEZ¹
JOSÉ HAMILTON RIBEIRO ANDRADE²

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação e Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
E-mail: , ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4711-1838>

²Professor Doutor na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
E-mail: , ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7850-1217>

RESUMO

O objetivo do trabalho foi identificar as transformações das feições erosivas e deposicionais formadas no canal fluvial por cheias de diversas magnitudes geradas nas quadras chuvosas de 2021, 2022 e 2023 no riacho efêmero Sítio Saquinho, afluente do rio Jaguaribe, região leste do estado do Ceará. As mudanças morfológicas foram registradas mediante observações em campo e registros fotográficos realizadas nos períodos secos e chuvosos. Nessas observações foram realizadas a descrição das feições erosivas e deposicionais produzidas pelas cheias e associá-las com os respectivos eventos chuvosos. As observações indicam que ao longo de cada quadra chuvosa, as cheias superiores ao nível *bankfull* são os principais formadores de depósitos arenosos como barras central e de pontal, enquanto as cheias subsequentes menores (*sub-bankfull*) cumprem o papel de retrabalhar tais depósitos.

Palavras-chave: Canais efêmeros. Vazões dominantes. Barras arenosas. Erosão do leito.

ABSTRACT

The objective of the work was to identify the transformations of erosive and depositional features formed in the stream channel by floods of different magnitudes generated in the rainy seasons of 2021, 2022 and 2023 in the ephemeral stream Sítio Saquinho, a tributary of the Jaguaribe river, Eastern region of the state of Ceara, Brazil. Morphological changes were recorded through field observations and photographic records taken during dry and rainy periods. In these observations, the erosion and depositional features produced by the floods were described and associated with the respective rainy events. Observations indicate that throughout each rainy season, floods above the bankfull level are the main formers of sandy deposits such as central and point bars, while subsequent smaller floods (*sub-bankfull*) fulfill the role of reworking such deposits.

Keywords: Ephemeral stream. Dominant discharge. Sandy bars. Bed erosion.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue identificar las transformaciones de los rasgos erosivos y deposicionales formados en el cauce del río por inundaciones de diferentes intensidades generadas en las temporadas de lluvias de 2021, 2022 y 2023 en el cauce efímero Sítio Saquinho, afluente del río Jaguaribe, parte oriental del estado de Ceará, Brasil. Los cambios morfológicos se registraron mediante observaciones de campo y fotografías tomadas durante los períodos secos y lluviosos. En estas observaciones se describieron los rasgos erosivos y deposicionales producidos por las inundaciones y se asociaron con los respectivos eventos lluviosos. Las observaciones indican que, a lo largo de cada temporada de lluvias, las inundaciones superiores al caudal de cauce pleno (*bankfull*) son las principales formadoras de depósitos de bancos arenosos, mientras que las inundaciones posteriores más pequeñas (*sub-bankfull*) cumplen la función de remodelar dichos depósitos.

Palabras-chave: Canales efímeros. Caudal dominante. Barras arenosas. Erosión del lecho.

INTRODUÇÃO

Os processos fluviais atuantes em rios de regiões secas são muito diferentes daqueles processos que dominam nos sistemas fluviais de regiões úmidas (GRAF, 1988; BULL; KIRKBY, 2002; REID; FROSTICK, 2011). A magnitude das inundações é maior nas regiões secas do que em regiões úmidas, principalmente se a condição geológica favorecer maior

escoamento e menor infiltração. A escassa vegetação e os solos mais compactados nas áreas secas favorecem a maior taxa do escoamento superficial (TURCOTTE; GREENE 1993; THORNES, 1994).

Tooth (2000) destaca as principais características dos rios de regiões secas: 1) grande variação espacial e temporal da precipitação, 2) decréscimo da vazão em direção à jusante pela perda de transmissão devido a infiltração, 3) rápido aumento e diminuição da vazão durante as fortes chuvas de curta duração, 4) ocorrência de vazões com baixa frequência e alta magnitude (vazões dominantes, formadoras ou *bankfull*) e vazões com alta frequência e baixa magnitude (vazões sub-dominantes ou *sub-bankfull*) e 5) vegetação ciliar pouco densa ou inexistente.

A morfologia dos canais efêmeros é produto da ação conjunta das vazões dominantes e sub-dominantes (WOLMAN; GERSON, 1978; GRAF, 1988; GOODRICH et al., 1997; CORRÊA, 2011). Nas regiões secas, vazões dominantes possuem tempo de recorrência que varia amplamente, de 1 a 32 anos segundo Graf (1988) ou de 10 a 50 anos de acordo com Shannon et al. (2002). Por outro lado, nas regiões úmidas, o tempo de recorrência das vazões formadoras ou *bankfull* varia de 1 a 2 anos (LEOPOLD et al., 1964; LEOPOLD, 1994; CASTRO; JACKSON, 2001).

As mudanças substanciais na morfologia dos rios das regiões secas, que consistem em expressivas taxas de erosão e deposição, são impostas pelas grandes e infrequentes vazões dominantes geradas pelas chuvas concentradas. Por outro lado, as vazões menores e mais frequentes provocadas por precipitações menos expressivas (sub-dominantes ou *sub-bankfull*) retrabalham continuamente os depósitos das grandes cheias (BOURKE, 2002; TILLINGHAST et al., 2011; DUMITRIU, 2018; CONESA-GARCÍA et al., 2022).

Devido à alta frequência (1 a 2 anos) das vazões formadoras nas regiões úmidas, os indicadores morfológicos e sedimentológicos utilizados para identificar tais vazões são preservados e reconhecidos com facilidade (WILLIAMS, 1978), enquanto nos canais efêmeros das regiões secas, os indicadores das vazões dominantes são obliteração pelo vento, chuva ou ação biológica em razão do seu grande intervalo de retorno (BAKER, 1977; SCHUMM et al., 1984).

No Brasil, estudos dos processos fluviais em regiões úmidas são abundantes desde a década de 1980. Entretanto, trabalhos sobre essa temática em regiões secas do Nordeste apareceram somente nas duas últimas décadas (ARAÚJO, 2002, 2007; ARAÚJO; KNIGHT, 2005; CORRÊA, 2011; SOUZA; CORRÊA, 2012; CAVALCANTE; CUNHA, 2012; SOUZA et al., 2016a, b; ARAÚJO et al., 2017; CAVALCANTE, 2018; LIMA; LUPINACCI, 2019; COELHO; ANDRADE, 2020; SOUZA; HOOKE, 2021; SILVA et al., 2022; RABELO et al., 2022; RODRIGUES et al., 2023).

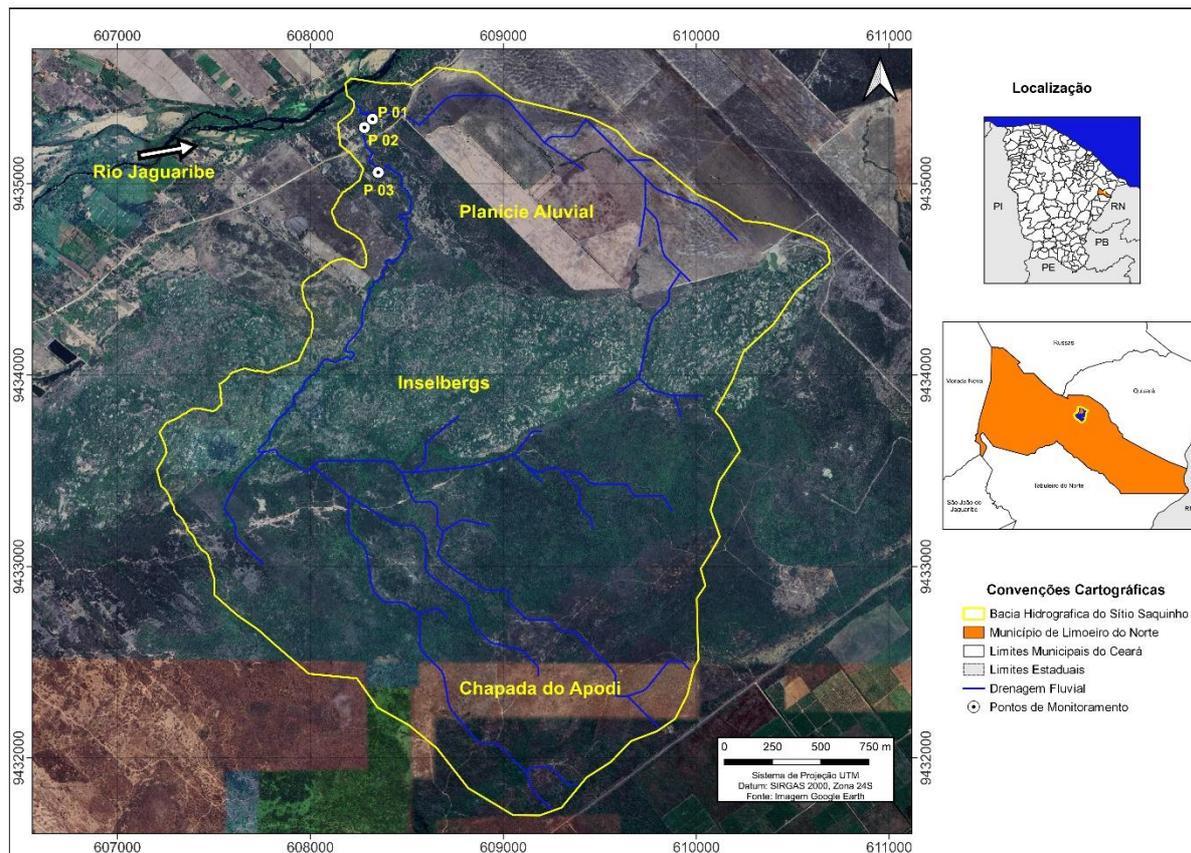
O objetivo do trabalho é identificar as transformações das feições erosivas e deposicionais formadas no leito do canal fluvial por cheias de diversas magnitudes geradas nas quadras chuvosas de 2021, 2022 e 2023 no riacho efêmero Sítio Saquinho, afluente do rio Jaguaribe, região leste do estado do Ceará.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O riacho efêmero Sítio Saquinho localizada no município de Limoeiro do Norte, porção leste do estado do Ceará (Figura 1), é afluente do rio Jaguaribe no seu trecho inferior. Conforme Andrade e Maia (2018), o rio Jaguaribe é um dos principais rios do Estado do Ceará com aproximadamente 610 km de extensão drenando vários municípios cearenses.

Figura 1 - Localização do canal efêmero Sítio Saquinho no trecho inferior do rio Jaguaribe, município de Limoeiro do Norte (CE).



Fonte: Os autores.

O clima predominante na área de estudo é o Tropical Semiárido, que é caracterizado por um período chuvoso de fevereiro a maio (quadra chuvosa), permanecendo seco o resto do ano. A temperatura média anual varia de 26° a 28°C e a precipitação média anual é de 720,5 mm (FUNCEME, 2023), sendo este último valor superior as médias mundiais para o clima semiárido que variam de 200 a 500 mm/ano (GROVE, 1977). O principal mecanismo produtor de chuva na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que corresponde a uma área de intensa atividade convectiva, baixas pressões, alta nebulosidade e abundante precipitação (FERREIRA; MELLO, 2005).

Os elevados coeficientes de temperatura ao longo do ano, contribuem para um balanço hídrico deficitário durante boa parte do ano (SOUZA et al., 2006). Nas últimas décadas, a mudança no uso da terra mais relevante na região do Baixo Jaguaribe ocorreu pela conversão de vegetação nativa (caatinga rasteira e arbórea) para agricultura, principalmente na chapada do Apodi (GAMEIRO et al., 2023).

A bacia do Sítio Saquinho, composta integralmente por canais efêmeros, apresenta uma área de 7,93 km² e um perímetro de 12,6 km, sendo um dos tributários do rio Jaguaribe, situado na sua margem direita no seu baixo curso. A área em estudo está inserida geologicamente no Domínio Setentrional da Província Borborema, apresentando as seguintes unidades litoestratigráficas: granitoides do embasamento cristalino; rochas sedimentares da Bacia Potiguar (Formações Açú e Jandaíra) e os depósitos Quaternários da planície aluvial do rio Jaguaribe (SILVA, 2017; LIMA, 2022).

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia do Sítio Saquinho é formada por três unidades de relevo, sendo elas: planície fluvial (paleo-terraços) do rio Jaguaribe, inselbergs e

chapada do Apodi (LIMA, 2022). A planície do rio Jaguaribe, com largura que pode alcançar até 10 km, é formada por depósitos aluvionares (paleo-terraços), constituídos de sedimentos inconsolidados formados por seixos, areias finas a grossas, com níveis de cascalhos e argilas, datando do período Quaternário (PINÉO; PALHETA, 2021). Na margem direita do rio Jaguaribe, os depósitos aluviais repousam sobre os arenitos da Formação Açu.

Os inselbergs presentes na bacia do Sítio Saquinho apresentam feições convexas ao longo da planície do rio Jaguaribe. Conforme Maia (2005), esses inselbergs vem sendo exumados pela rede de drenagem, que promove a erosão lateral e o recuo da Chapada do Apodi. A Chapada do Apodi é caracterizada por superfícies planas, formada por rochas da Bacia Sedimentar Potiguar, capeada por calcários da Formação Jandaíra sobrepostos aos arenitos da Formação Açu com estrutura que mergulha na direção do litoral com declives muito suaves (SOUZA et al., 2006). Os calcários são fossilíferos de coloração bege e cinza claro, datados do Cretáceo Superior. Já a Formação Açu é formada por arenitos de cores cinza e vermelha e de granulação fina a média (PINÉO; PALHETA, 2021).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As mudanças morfológicas no leito fluvial foram acompanhadas mediante observações em campo e registros fotográficos realizadas tanto nas épocas das chuvas como em períodos secos. Nessas observações são realizadas a descrição das feições erosivas e deposicionais produzidas pelas vazões e associá-las com os respectivos eventos chuvosos.

As precipitações foram estudadas através da frequência dos maiores acumulados de chuva ocorridos em cada ano. O tempo de retorno (Tr) das máximas precipitações diárias anuais (P) foi calculado pela fórmula de Weibull (GORDON et al., 1993). A série histórica das chuvas diárias (período 1985-2023) utilizada no trabalho corresponde a estação climatológica de Limoeiro do Norte (código 538009) (ANA, 2023). Para estimar Tr , os dados da precipitação foram organizados numa sequência crescente, na qual a máxima precipitação anual diária da série histórica ocupa a primeira posição ($m=1$). O valor de Tr para cada evento máximo anual foi estimado empregando a equação (1):

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad (\text{equação 1})$$

Onde n =número de anos com dados de chuva disponível e m =posição da máxima precipitação diária anual na ordem crescente.

Os elementos do canal fluvial referente a seção transversal (largura e profundidade), a declividade e a sinuosidade do trecho foram obtidas em gráficos elaborados no aplicativo Excel a partir dos dados coletados com auxílio de Estação Total. O topo das barras de pontal foi adotado como referência na definição do nível de margens plenas (Figura 2). Este nível foi utilizado na medição da largura e da profundidade do canal. Com base nos dados morfológicos, foi aplicada a classificação alfanumérica de Rosgen (1994), baseada nos seguintes parâmetros: padrão fluvial, grau de entrincheiramento do canal, relação largura/profundidade, índice de sinuosidade, declividade do fluxo e textura dos sedimentos de fundo.

Os sedimentos arenosos coletados na calha fluvial em cada ponto de monitoramento foram analisados por peneiramento no Laboratório de Instituto Federal do Ceará, *campus* de Limoeiro do Norte.

Figura 2 – Característica física do riacho Sítio Saquinho no seu trecho inferior e definição do nível de margens plenas. Data: 11 de setembro de 2023. Vista para jusante.



Fonte: os autores.

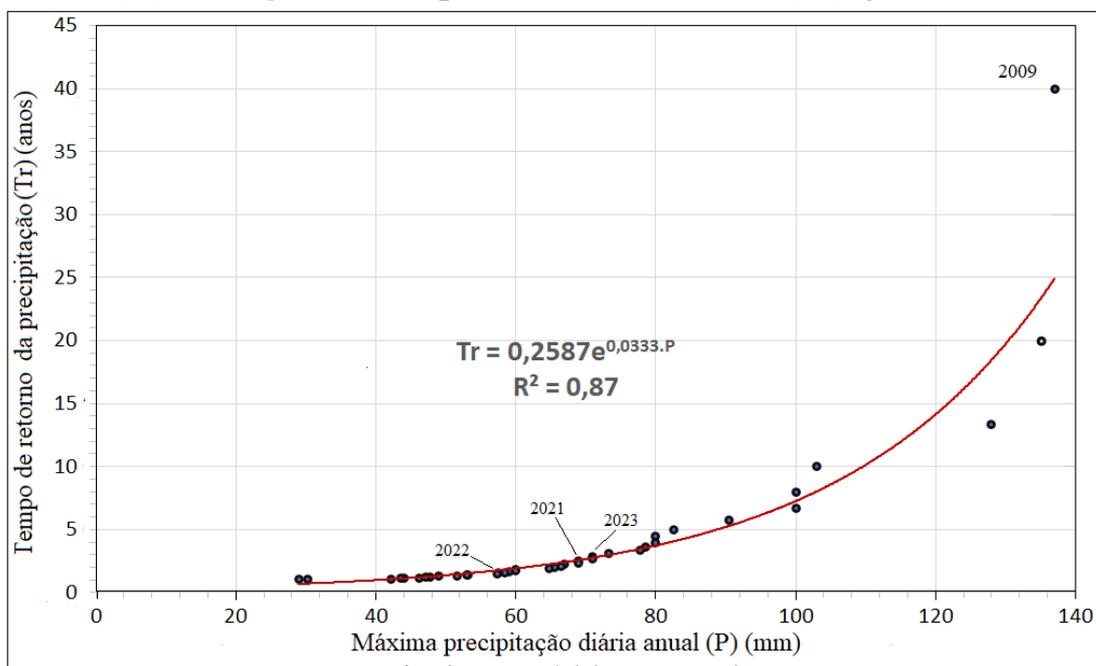
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Frequência dos Eventos Chuvosos

A análise estatística da série histórica das máximas chuvas diárias anuais (P) no período 1985 a 2023 (39 anos) forneceu os valores de valor médio e desvio padrão de P igual a 68,64 mm e 25,91 mm respectivamente. A maior precipitação foi registrada em 2009, alcançou 137 mm com tempo de retorno de 40 anos e a menor com 29 mm ocorrida em 2015 com 1,03 ano de recorrência (Figura 3).

Os quantitativos de P nas três quadras chuvosas analisadas neste trabalho (2021 a 2023), não foram expressivas, oscilando em torno da média das chuvas da série histórica. A máxima chuva diária anual de 2021 alcançou 69 mm (2,5 anos de retorno), a de 2022 chegou a 57,5 mm (1,5 ano de recorrência) e a de 2023 atingiu 71 mm (2,7 anos de retorno) (Figura 3). Por tanto, as precipitações máximas diárias anuais ocorridas nas três quadras chuvosas são de baixa magnitude e alta frequência. O citado volume pluviométrico é próximo ao valor médio nessa estação (período 1985-2024) que é de 70,24 mm, com valores mínimo e máximo de 29 mm (2015) e 137 mm (2009) respectivamente.

Figura 3 - Relação das máximas precipitações diárias anuais (P) e o respectivo tempo de retorno (Tr) na estação climatológica de Limoeiro do Norte (CE), período 1985-2023.



Fonte: os autores.

Características Morfológicas e Sedimentológicas do Riacho Sítio Saquinho

Os pontos de monitoramento foram posicionados nos domínios da planície aluvial do rio Jaguaribe formada por paleo-terraços (Figura 1). Neste trecho, o canal apresenta padrão meândrico e leito entalhado com profundidades variando de 2 a 3 m (Figura 2).

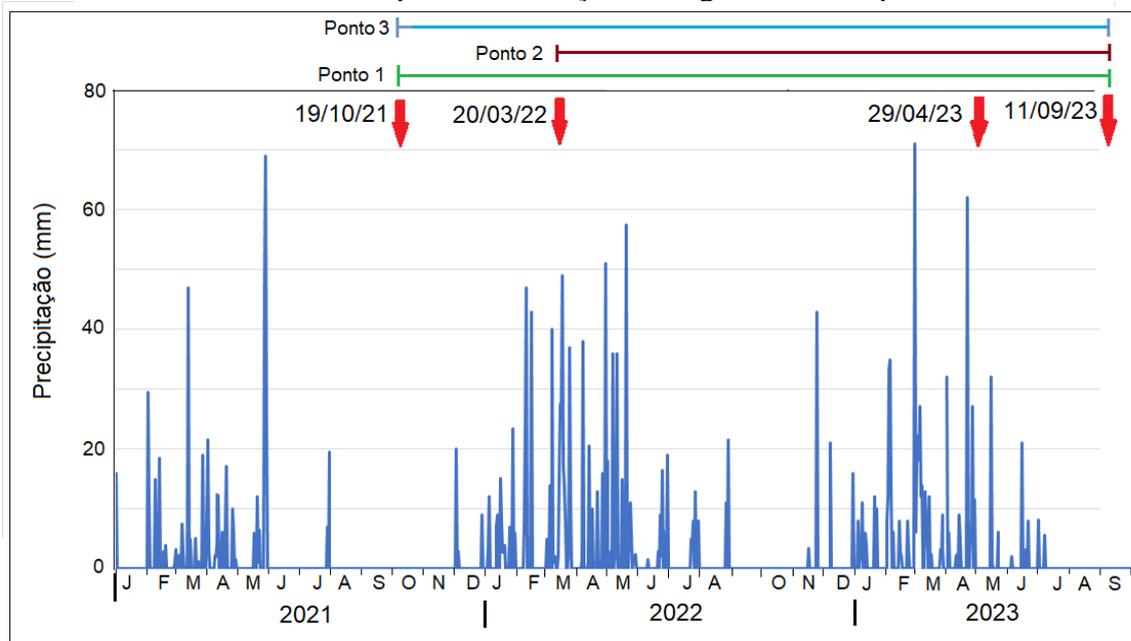
Quanto a caracterização dos sedimentos do leito, as amostras apresentam-se em termos granulométricos muito homogêneas, classificadas na classe textural de areia grossa com grau de seleção variando de moderada e pobremente selecionada. Os pontos de monitoramento foram classificados na tipologia B5c de acordo com a proposta de Rosgen (1994). Nesta tipologia é caracterizado por apresentar entalhamento moderado (1,4-2,2), relação L/P > 12, índice de sinuosidade > 1,2 e declividade do leito < 0,02 m/m. O número que integra a nomenclatura de Rosgen representa o tipo de material presente no leito sendo 5, correspondente a classe textural areia. Por último, a letra c da nomenclatura indica que os canais desta tipologia possuem declividade < 0,02 m/m.

Mudanças Topográficas no Leito Fluvial

A descrição e os registros fotográficos das mudanças na topografia do leito fluvial no riacho efêmero do Sítio Saquinho foram realizadas em quatro campanhas de campo distribuídas em duas atividades executadas nos períodos secos (outubro/21 e setembro/23) e duas durante os períodos chuvosos (março/22 e abril/23) (Figura 4). As tarefas de monitoramento foram realizadas em três pontos, situados no curso inferior da bacia (Figura 1).

Em cada ponto, as observações foram executadas em diversos intervalos de tempo. No ponto 1 se iniciaram em outubro de 2021 até setembro de 2023. No ponto 2 as observações foram realizadas em março de 2022 e setembro de 2023 e no ponto 3 em outubro de 2021 e março/setembro de 2023 (Figura 4). A descrição detalhada das mudanças observadas em cada ponto é apresentada a seguir.

Figura 4 - Precipitações diárias registradas na estação climatológica de Limoeiro do Norte. As setas indicam a data das atividades de campo e as linhas horizontais (na parte superior) ilustram o tempo de observação abrangido em cada ponto.



Fonte: os autores.

Observações no Ponto 1

O monitoramento fotográfico no ponto 1 ($5^{\circ}06'28,14''$ S e $38^{\circ}01'21,86''$ W), caracterizado por um segmento meândrico, foi efetuado entre outubro/21 e setembro/23 através de quatro campanhas de campo (Figuras 4 e 5).

A figura 5A retrata as condições morfológicas do canal num período de longa estiagem caracterizado por leito com leve aprofundamento. Na figura 5B é observado o canal com fluxo resultado de contínuas precipitações nos dias 15 a 19 de março/2022 que somaram 137,7 mm. As vazões neste período não chegaram a inundar a barra de pontal da margem esquerda. A superfície suavizada dos depósitos arenosos indica a cota máxima que as vazões alcançaram naquele período de cinco dias de chuva. As vazões oscilaram abaixo do nível de margens plenas (*bankfull*) identificado pelo topo da barra de pontal, indicada pela seta amarela na figura 5B. Estas vazões menos expressivas são definidas como *sub-bankfull* e sua importância na modelagem dos leitos móveis dos canais é destacada por vários autores (BOURKE, 2002; TILLINGHAST et al., 2011, DUMITRIU, 2018; CONESA-GARCÍA et al., 2022).

A situação do canal em 29 de abril de 2023, durante o período chuvoso daquele ano, é registrada na figura 5C. A imagem mostra o leito relativamente assoreado se compararmos com a figura 5A. Cabe destacar que a fotografia da figura 4C foi obtida após a ocorrência de uma precipitação expressiva ocorrida em 1º de março que alcançou o acumulado diário de 71 mm, a maior do ano (Figura 4). Apesar de não possuímos registro das mudanças morfológicas ocasionadas pela vazão naquele dia, podemos sugerir que esse evento chuvoso, com 2,7 anos de recorrência, poderia ter originado vazão acima do nível *bankfull*, a qual é atribuída alta capacidade de transporte (ANDREWS, 1980) podendo causar o assoreamento do canal observado na figura 5C.

O aspecto do canal fluvial após dois meses do início do período seco em 2023 (Figura 3) é mostrado na figura 5D. Esta fotografia obtida em 11 de setembro de 2023 sugere um

relativo desassoreamento do leito com respeito ao registro de abril do mesmo ano (Figura 5C). Tal processo pode ter vínculo com dois eventos chuvosos acima de 10 mm/dia ocorridos entre a 3ª campanha (Figura 5C) e a 4ª (Figura 5D) (Figura 4) (32 mm em 15 de maio e 21 mm em 15 de junho). Ambas as precipitações têm potencial para gerar vazões *sub-bankfull* que se presume tem a capacidade de remover os sedimentos do leito, causando o desassoreamento do canal.

Figura 5 - Mudanças topográficas do leito fluvial no ponto 1 (período outubro de 2021-setembro de 2023) no riacho efêmero Sítio Saquinho. Vistas para montante.



Fonte: os autores.

Observações no Ponto 2

O ponto 2 está localizado num trecho retilíneo do riacho Sítio Saquinho (Figura 6), logo à montante do ponto 1 ($5^{\circ}06'29,84''$ S e $38^{\circ}01'23,13''$ W). As observações foram realizadas nos dias 20 de março de 2022 (Figura 6A) e 9 de setembro de 2023 (Figura 5B) totalizando 18 meses de interstício. Esse intervalo abrangeu dois períodos chuvosos e duas épocas de seca (Figura 4). Na figura 6A é observado o canal com fluxo resultado de cinco dias de chuvas antecedentes (dias 15 a 19 de março/2022) cujo valor acumulado alcançou 137,7 mm. A figura 6B ilustra as condições do canal no período seco após 2 meses do fim da quadra chuvosa de 2023 (Figura 4).

No período avaliado, o ponto 2 mostrou-se estável conservando a disposição das feições erosivas e deposicionais no canal, consistente numa barra central, o talvegue posicionado ao longo da margem direita e o canal secundário na margem esquerda. A morfologia do leito não foi alterada significativamente no decorrer desses 18 meses, apesar da ocorrência de cinco eventos chuvosos considerados proeminentes com acumulados diários superiores a 43 mm. Esperasse que as chuvas acima desse valor referencial possuam potencial para gerar vazões significativas. O limite de 43 mm obteve-se da subtração da média das máximas chuvas diárias anuais (68,64 mm) do desvio padrão (25,91 mm).

Figura 6 - Aspectos do canal fluvial no riacho Sítio Saquinho no ponto 2 em 20 de março de 2022 (A) e em 9 de setembro de 2023. Vistas para jusante.



Fonte: os autores.

Observações no Ponto 3

O monitoramento fotográfico no ponto 3 ($5^{\circ}06'37,20''$ S e $38^{\circ}01'29,75''$ W), localizado em um trecho meândrico do riacho, foi efetuado em 19 de outubro de 2021 (período seco), em 29 de abril e 11 de setembro de 2023 (períodos chuvoso e seco, respectivamente) (Figuras 4). A evolução morfológica do leito neste ponto de monitoramento no período de 23 meses (outubro de 2021 a setembro de 2023) é exibida nas fotografias da figura 7. Ambas os registros foram obtidos em períodos de seca, separados pelas quadras chuvas de 2022 e 2023.

Figura 7 - Evolução do canal fluvial no Sítio Saquinho (ponto 3) entre 19 de outubro de 2021 e 9 de setembro de 2023. Vista para montante.



Fonte: os autores.

A estabilidade morfológica do leito neste ponto chama a atenção, a preservação de uma pequena barra central e a consequente existência de dois braços, sendo o principal posicionado próximo a margem esquerda. Outra mudança que pode ser salientada é a remoção dos blocos desmoronados no barranco da margem esquerda. A referida estabilidade pode ser resultado das precipitações pouco expressivas ocorridas durante as quadras chuvosas de 2022 e 2023, em que as máximas precipitações diárias anuais alcançaram valores de 57,5 mm em 2022 (1,52 ano de recorrência) e 71 mm em 2023 (2,73 anos de retorno), valores próximos a média histórica das máximas precipitações (68,64 mm).

As mudanças morfológicas no ponto 3 são analisadas de maneira mais detalhada numa escala temporal menor, que se estende de 29 de abril a 11 de setembro de 2023 (Figura 8). Este período inclui a segunda metade da quadra chuvosa de 2023 e a época de seca subsequente (Figura 4). O círculo amarelo da figura 7B destaca a parte da margem direita realçada na figura 8.

Figura 8 - Transformações das feições erosivas e deposicionais observadas no ponto 3 no riacho Sítio Saquinho em 29 de abril de 2023 (esquerda) e 11 de setembro de 2023 (destaque a direita).



Fonte: os autores.

Na sequência de fotografias da figura 8 pode ser apreciada a presença de barras arenosas formadas pela maior cheia do ano e a posterior remoção gradual destas feições pelas vazões de nível *sub-bankfull*, causadas por chuvas com diferentes volumes acumulados.

A partir das condições físicas do canal observadas em 29 de abril (Figura 8), deduzimos que os patamares erosivos observados na margem direita foram construídos pelas cheias geradas em decorrência das chuvas ocorridas em 22 de abril (62 mm) (Linha 1) e em 27 de abril (27 mm) (Linha 2). Ambas as vazões constituem fluxos *sub-bankfull* que erodiram a barra lateral (superfície A) formada pela maior cheia do ano ocorrida em decorrência da precipitação acumulada de 71 mm (2,7 anos de retorno) registrada em 1 de março de 2023 (Figura 4).

Na figura 8 são discriminadas as feições erosivas presentes no ponto 3: as feições E, C e B representam a margem concava em erosão, a calha fluvial e o patamar esculpido pela cheia de 22 de abril (Linha 1). As feições deposicionais constituem a superfície A formada pela barra lateral depositada a cheia de 1 de março e a superfície D formada pela incipiente barra central estabilizada por espécies herbáceas. Essas ervas mostraram-se eficientes na fixação da pequena barra central, como pode ser observado nas fotografias tiradas nas épocas de seca de 2021 e 2023 (Figura 7). Nos períodos secos as raízes se mantêm em estado latente, brotando nos períodos chuvosos, como pode ser constatado na figura 8.

As fotografias da figura 8 evidenciam que os indicadores erosivos e deposicionais, que são utilizados para definir os níveis alcançados pelas cheias, se mantêm com poucas alterações em condições ideais de pouca atividade antrópica e faunística como no riacho Sítio Saquinho.

CONCLUSÃO

As observações indicam que ao longo de cada quadra chuvosa, as cheias superiores ao nível *bankfull* são os principais formadores de depósitos arenosos como barras central e de pontal, enquanto as cheias subsequentes menores (*sub-bankfull*) cumprem o papel de retrabalhar tais depósitos, dando ao canal as dimensões físicas que perduram durante todo o período seco. Esta constatação coincide com a dinâmica hidrossedimentar em drenagens efêmeras de outras regiões secas do mundo relatada na literatura.

O monitoramento contínuo das mudanças morfológicas no leito em associação com as vazões geradas pelas chuvas de diversas magnitudes, podem complementar as ideias iniciais levantadas neste trabalho sobre o papel das vazões *bankfull* e *sub-bankfull* nos processos erosivos e deposicionais nas drenagens efêmeras no semiárido nordestino.

REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em setembro de 2023.
- ANDRADE, J.H.R.; MAIA, C.E. Erosão de margens em rios semiáridos: Estudo na sub-bacia do Baixo Jaguaribe - Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.19, n.4, p. 859-870, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1379>.
- ANDREWS, E.D. Effective and bankfull discharges of stream in the Yampa river basin, Colorado and Wyoming. **Journal of Hydrology**, v. 46, 311-330. 1980.
- ARAÚJO, J.C. Entropy-based equation to assess hillslope sediment production. **Earth Surface Processes Landforms**, v. 32, 2005–2018. 2007. <https://doi.org/10.1002/esp.1502>.
- ARAÚJO, J.C.; KNIGHT, D.W. A review of the measurement of sediment yield in different scales. **Rem: Revista Escola Minas**, v. 58 (3): 257–265. 2005. <https://doi.org/10.1590/s0370-44672005000300012>.
- ARAÚJO, J.C.; PINHEIRO, E.A.R.; MEDEIROS, P.H.A.; FIGUEIREDO, J.V.; BRONSTERT, A. Sediment yield in different scales in a semiarid basin: the case of the Jaguaribe River, Brazil. In: Radecki-Pawlik, A.; Pagliara, S.; Hradecký, J.; Hendrickson, E. (Eds.) **River Hydraulic Structures and Fluvial Geomorphology**. CRC Press, London, pp. 375–387. 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315120584-19>.
- BAKER, V.R. Stream-channel response to floods, with examples from Central Texas. **Bulletin Geological Society of America**, v. 88: 1057–1071. 1977.
- BOURKE, M.C. Suspended sediment concentrations and the geomorphic effect of sub-bankfull flow in a central Australian stream. The Structure, Function, and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems, **Proceedings of an International Symposium Held at Alice Springs, Australia**. IAHS Publ. No. 276. 2002.
- BULL, L.J.; KIRKBY, M.J. Dryland river characteristics and concepts. In: Bull, L.J.; Kirkby, M.J. (Eds.) **Dryland rivers: Hydrology and geomorphology of semi-arid channels**. John Wiley & Sons, West Sussex, pp. 3-15. 2002.
- CASTRO, J.M.; JACKSON, P.L. Bankfull discharge recurrence intervals and regional hydraulic geometry relationships patterns in the Pacific Northwest, USA. **Journal American Water Resources Association**, v. 37, 1249–1262, 2001. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03636.x>.
- CAVALCANTE, A.A Distribuição temporal de descargas e alterações morfológica em rios semiáridos: o rio Jaguaribe no Ceará, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, v. 35, 28-36, 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.133598>.

CAVALCANTE, A.A.; CUNHA, S.B. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do rio Jaguaribe-CE-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13 (1), 39-49, 2012. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i1.340>.

COELHO, G.K.S.; ANDRADE, J.H.R. Caracterização de feições morfológicas no canal do rio Jaguaribe: trecho Limoeiro do Norte-Quixeré. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21 (2), 343-363, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1531>

CONESA-GARCÍA, C.; PUIG-MENGUAL, C.; RIQUELME, A.; TOMÁS, R.; MARTÍNEZ-CAPEL, F.; GARCÍA-LORENZO, R.; PASTOR, J.L.; PÉREZ-CUTILLAS, P.; MARTÍNEZ-SALVADOR, A.; CANO-GONZALEZ, M. Changes in stream power and morphological adjustments at the event-scale and high spatial resolution along an ephemeral gravel-bed channel. **Geomorphology**, v. 398, 108053. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108053>.

CORRÊA, A.C.B. Antropogênese e morfogênese sob a ação de eventos climáticos de alta magnitude no semiárido pernambucano: o caso da Bacia do Riacho Salgado. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n.3, p. 25-36, 2011. <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i0.256>.

DUMITRIU, D. Sub-bankfull flow frequency versus magnitude of flood events in outlining effective discharges. Case study: Trotus river (Romania). **Water**, v. 10, 1292. 2018. <https://doi.org/10.3390/w10101292>.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1 (1), 15- 28. 2005. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). Disponível em <http://www.funceme.br/>. Acesso em 19/09/2023.

GAMEIRO, S.; FRAZÃO, A.P.; LIMA, G.S.A.; MOREIRA, H.G.B.; FREITAS, V.V.; ROCHA, J.M.; COSTA, J.V.S.; FERREIRA, M.E.; NASCIMENTO, V.N. Análise espaço-temporal das mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 5 p. Florianópolis, 2023.

GOODRICH, D.C., LANE, L.J., SHILLITO, R.M., MILLER, S.N., SYED, K.H.; WOOLHISER, D.A. Linearity of basin response as a function of scale in a semiarid watershed. **Water Resources Research**, v. 33 (12), 2951-2965. 1997.

GORDON, N.D.; McMAHON, T.A.; FINLAYSON, B.L. **Stream hydrology: an introduction for ecologists**. John Wiley & Sons, New York. 1993.

GRAF, W.L. **Fluvial Processes in Dryland Rivers**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 1988.

GROVE, A.T. The geography of semi-arid lands. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 278 (962), 457-475. 1977.

LEOPOLD, L.B. **A view of the river**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 320 p. 1994.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. W.H. Freeman, San Francisco, USA. 522 p. 1964.

LIMA, K.C.; LUPINACCI, C.M. Morfologias fluviais em ambiente semiárido: questões teóricas aplicadas a um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20 (3): 475-490. 2019. <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1597>.

LIMA, T.R.S. **Dinâmica geomorfológica dos sertões no Baixo Jaguaribe, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.

MAIA, R.P. **Planície Fluvial do rio Jaguaribe: evolução geomorfológica, ocupação e análise ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2005.

PINÉO, T.R.G.; PALHETA, E.S.M. (Orgs.) **Projeto Mapa Geológico e Recursos Minerais do Estado do Ceará**. Escala 1 :500.000. Fortaleza: CPRM, 92 p. 2021.

RABELO, D.R.; CAVALCANTE, A.A.; ARAÚJO, J.C. Sediment yield in a basin in Brazilian Semiarid Regions: a discussion on positive allometry. **Catena**, v. 221, 106749. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106749>.

REID, I.; FROSTICK, L.E. Channel form, flows, and sediment of endogenous ephemeral rivers in deserts. In: Thomas, D.S.G. (Eds.) **Arid zone geomorphology: Process, form, and change in drylands**, 3rd edition. John Wiley and Sons, West Sussex. pp. 301-332. 2011.

RODRIGUES, J.M.; SOUZA, J.O.P.; XAVIER, R.A.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M. Geomorphic changes in river styles in a typical catchment of the Brazilian semiarid region. **Catena**, v. 232, 107423. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107423>

ROSGEN, D.L. A classification of natural rivers. **Catena**, v. 22: 169-199. 1994.

SCHUMM, S.A.; HARVEY, M.D.; WATSON, C.C. **Incised Channels: morphology, Dynamics and Control**. Water Resources Publications: Littleton, Colorado, USA 1984.

SHANNON, J.; RICHARDSON, R.; THORNES, J. Modelling event-based fluxes in ephemeral streams. In: Bull, L.J.; Kirkby, M.J. (Eds.) **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. John Wiley & Sons, pp. 129-172. 2002.

SILVA, A.M.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; LINHARES, F.M.; XAVIER, A.P.C. Modeling the effects of future climate and land use changes on streamflow in a headwater basin in the Brazilian Caatinga biome. **Geocarto International**, v. 37, 12436–12465. 2022. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2068672>.

SILVA, R.S.F. da. **Contribuições a interpretação da evolução geomorfológica do Baixo Jaguaribe/CE**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2017.

SOUZA, J.O.P.; CORRÊA, A.C.B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 149-168, 2012. <https://doi.org/10.4215/rm2012.1124.0010>.

SOUZA, J.O.P.; BARROS, A.C.M.; CORRÊA, A.C.B. Estilos fluviais num ambiente semiárido: bacia do Riacho do Saco, Pernambuco. **Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia**, n. 102, p. 3-23, 2016a. <https://doi.org/10.18055/finis3737>.

SOUZA, J.O.P.; CORRÊA, A.C.B.; BRIERLEY, G.J. An approach to assess the impact of landscape connectivity and effective catchment area upon bedload sediment flux in Saco Creek Watershed, Semiarid Brazil. **Catena**, v. 138, p. 13-29, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.006>.

SOUZA, J.O.P.; HOOKE, J. Influence of seasonal vegetation dynamics on hydrological connectivity in tropical drylands. **Hydrological Processes**, v. 35, 1-19. 2021. <https://doi.org/10.1002/hyp.14427>.

SOUZA, M.J.N. de; OLIVEIRA, V.P. de; NASCIMENTO, F.R. do; CORREIA, L.J. Diagnóstico geoambiental do Baixo Jaguaribe. In: ROSA, M. de F.; GONDIM, R.S.; FIGUEIRÊDO, M.C. B.de (Eds.). **Gestão sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindustrial Tropical, p. 25 -45. 2006.

SOUZA, J.O.P.; CORRÊA, A.C.B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 149-168, 2012. <https://doi.org/10.4215/rm2012.1124.0010>.

SOUZA, M.J.N. de; OLIVEIRA, V.P.de; NASCIMENTO, F.R. do; CORREIA, L.J. Diagnóstico geoambiental do Baixo Jaguaribe. In: ROSA, M. de F.; GONDIM, R.S.; FIGUEIRÊDO, M.C. B.de. **Gestão sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindustrial Tropical, p. 25 -45. 2006.

THORNES, J.B. Catchment and channel hydrology. **Geomorphology of Desert Environments**. A.D. Abrams; A.J. Parsons (eds.), London: 257-287. Chapman and Hall. 1994.

TILLINGHAST, E.D.; HUNT, W.F.; JENNINGS, G.D. Stormwater control measure (SCM) design standards to limit stream erosion for Piedmont North Carolina. **Journal of Hydrology**, v. 411, 185-196. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.027>.

TURCOTTE, D.L.; GREENE, L. A scale-invariant approach to flood frequency analysis, **Stochastic Hydrol. Hydraul.**, v. 7, 33-40. 1993.

TOOTH, S. Process, form and change in dryland rivers: a review of the research. **Earth Science Reviews**, v. 51, 67-107. 2000. [https://doi.org/10.1016/s0012-8252\(00\)00014-3](https://doi.org/10.1016/s0012-8252(00)00014-3)

WILLIAMS, G.P. Bankfull Discharge of Rivers. **Water Resources Research**, v. 14 (6): 1141-1154. 1978.

WOLMAN, M.G.; GERSON, R. 1978. Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. **Earth Surface Processes**, v. 3: 189-208. 1978.