



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANDRÉ OLIVEIRA TRIGUEIRO CASTELO BRANCO**

**INTERFERÊNCIA LONGITUDINAL DE PEQUENAS  
ESTRUTURAS NA CONECTIVIDADE SEDIMENTOLÓGICA  
FLUVIAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO CURSO DO RIO  
PIANCÓ – SEMIÁRIDO PARAIBANO**

**João Pessoa  
2020**

**ANDRÉ OLIVEIRA TRIGUEIRO CASTELO BRANCO**

**INTERFERÊNCIA LONGITUDINAL DE PEQUENAS  
ESTRUTURAS NA CONECTIVIDADE SEDIMENTOLÓGICA  
FLUVIAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO CURSO DO RIO  
PIANCÓ – SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba (PPGG/UFPB), como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza.

**Coorientador:** Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

**Área de Concentração:** Território, Trabalho e Ambiente.

**Linha de Pesquisa:** Gestão do Território e Análise Geoambiental.

**JOÃO PESSOA**

**2020**



**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

C349i Castelo Branco, André Oliveira Trigueiro.

Interferência longitudinal de pequenas estruturas na conectividade sedimentológica fluvial : bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó - Semiárido Paraibano / André Oliveira Trigueiro Castelo Branco. João Pessoa, 2020.

105 f. : il.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Souza.

Coorientação: Richarde Marques da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Conectividade. 4. Sedimentológica. 5. Passagens molhadas. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de. II. Silva, Richarde Marques da. III. Título.

UFPB/BC

CDU 911(043)

***"Interferência Longitudinal de Pequenas Estruturas na Conectividade Sedimentológica Fluvial: Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó - Semiárido Paraibano"***

por

**André Oliveira Trigueiro Castelo Branco**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente

Aprovada por:



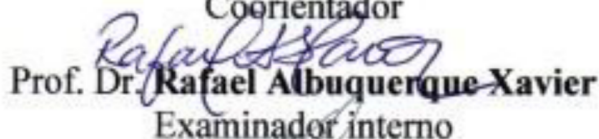
**Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza**

Orientador



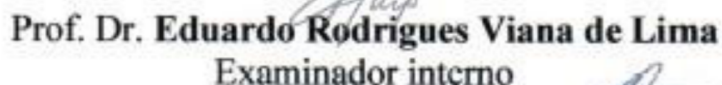
**Prof. Dr. Richarde Marques da Silva**

Coorientador



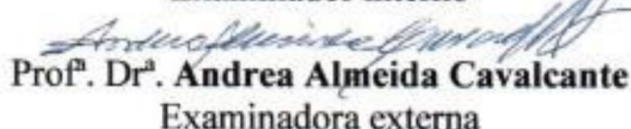
**Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier**

Examinador interno



**Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima**

Examinador interno



**Profª. Drª. Andrea Almeida Cavalcante**

Examinadora externa

**Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Curso de Mestrado e Doutorado em Geografia**

**Dezembro/2020**

Aos meus Pais, Marcos e Fátima.  
Bases inabaláveis de carinho e  
dedicação, a eles meu eterno e  
verdadeiro respeito, e admiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Universidade Federal da Paraíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – CAPES, por fomentar a execução deste trabalho, provendo os recursos financeiros e logísticos necessários.

Ao Professor Jonas Otaviano Praça de Souza, pela parceria no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por compartilhar ideias, propostas e claro, muitos momentos de stress. Devo muito do meu crescimento acadêmico e profissional à todas as conversas e atividades que desempenhamos ao longo dessa empreitada.

Ao Professor Richarde Marques, por sempre se fazer presente e solícito aos assuntos que apresentei, bem como acompanhando todas as etapas deste trabalho.

Ao meus Pais, Marcos e Fátima, que não pouparam esforços para possibilitar que este mero pesquisador tivesse sempre o necessário para continuar estudando e se dedicando. A construção deste trabalho tem neles sua pedra fundamental. Meus corações.

A minha irmã Ana Paula, que compartilhou muitos momentos de descontração e agonia, que na convivência diária soube lidar com esse irmão estressado.

A Wylliane Ladislau, companheira de todas as horas. Dos momentos mais obscuros e inquietantes aos louros instantes de alegrias, você sempre esteve lá, ora sendo luz, ora sendo o sinal de alerta. Não poderia ter chegado até aqui, sem a sua amizade, carinho e profissionalismo. A você, meu amor e admiração.

Aos amigos oriundos da Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA, Vinícius, Kenia, Marina e Cleytiane, que sempre me incentivaram e acreditaram. Vocês sempre terão participação em cada conquista pessoal e profissional.

Aos discentes de turma de mestrado de 2018, Adriano, Felipe, Rodolfo (Deus), Rejane, Erick, Camilla, Joseline, Suliman, Diego, Guilherme, Leonardo, Lígia, Jefferson, Renilson, Anderson, Arimatéia, Eliane e Augusto. Por todos os momentos vivenciados ao longo desses vinte e quatro meses e uma pandemia. Com toda certeza, vocês marcaram minha vida de diversas maneiras. Foi uma satisfação enorme.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG, que com muito empenho e dedicação buscam instigar aos seus alunos a serem melhores profissionais. Em especial, destaco a professora Doralice Sátiro, profissional de extremo

quilate, não poupou esforços para trazer debates e reflexões construtivas que levarei em toda minha vida acadêmica e profissional. Agradeço também as professoras, Camilla Cunico e Dayse e aos professores J.J. e Bartolomeu.

A coordenação do PPGG e seus funcionários, em que destaco o ex-coordenador professor Carlos Augusto, pela sensibilidade e atenção com os pleitos e procedimentos apresentados. Não menos importante, cabe destacar a eterna e consagrada Sônia, por toda atenção e dedicação.

Aos membros do Grupo de Estudos de Ambientes Fluviais Semiáridos – GEAFS e do Laboratório de Estudos Fluviais – LEF, por todo apoio e troca de experiências.

A Camilla Santos, Stéphanie Medeiros e Kenia Karoline, por todo o auxílio nas atividades de pré-campo, campo e pós-campo, sem vocês esse trabalho não teria chegado aonde chegou. Não tenho palavras para expressar o quanto a ajuda de vocês foi importante nesse projeto. Agradeço por todas as conversas, debates e planejamentos, que proporcionaram a execução de tudo aquilo que propomos.

Agradeço também a Diego Corte, Jeovanes, Letícia Barros, Leonardo, Adonai, por toda a ajuda no processamento das amostras, passando dias e noites executando, checando e corrigindo.

Agradeço ao Laboratório de Planejamento e Gestão Ambiental – LAPLAG, através do geógrafo e servidor Henrique Gutierrez, pelos inúmeros momentos de troca de ideias e debates.

Agradeço ao Laboratório de Materiais Não-Metálicos do Centro de Tecnologia da UFPB, por todo auxílio no processamento das amostras, em especial o técnico Meyson, que com muita dedicação processou as inúmeras amostras que remeti.

A professora Cristiane, coordenadora do Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), que sempre muito solícita e atenciosa, disponibilizou o espaço do laboratório para a realização do tratamento dos sedimentos e preparação das amostras.

Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Rafael Xavier e Prof. Dr. Eduardo Viana pelas contribuições e comentários desenvolvidos desde a fase do projeto, passando pela qualificação e consequentemente a defesa. Agradeço a professora Dra. Andrea Cavalcante pela disponibilidade e suas contribuições.

*“Alguns acreditam que apenas um grande poder é capaz de manter o mal sob controle. Mas não foi isso que descobri. Descobri que são as pequenas ações cotidianas de pessoas comuns que mantêm o mal afastado, simples ações de bondade e amor”*

*(Gandalf, O Hoobit: Uma Jornada Inesperada)*

*“Nenhum trabalho se faz sozinho. Por traz de todo pesquisador, há sempre um alguém, que ampara, que levanta e alerta.”*

*(O autor).*

# INTERFERÊNCIA LONGITUDINAL DE PEQUENAS ESTRUTURAS NA CONECTIVIDADE SEDIMENTOLÓGICA FLUVIAL: BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO CURSO DO RIO PIANCÓ – SEMIÁRIDO PARAIBANO

## Resumo

No semiárido brasileiro, a presença humana encontra na oferta de recursos hídricos seu maior fator para o desenvolvimento de suas atividades. A convivência com a região semiárida requer inúmeras formas de adaptação e gestão por parte das comunidades, municípios e demais esferas públicas. Nessa região, a predominância do comportamento dos rios são os regimes intermitentes e efêmeros, com poucas exceções. Essa característica requer uma infraestrutura de tráfego que permita transpor os corpos pequenos rios e riachos mesmo em período chuvoso e que encontra nas passagens molhadas uma alternativa de baixo custo e capaz de suportar múltiplos níveis de vazão. O trabalho buscou avaliar as influências longitudinais que essas estruturas proporcionam ao sistema fluvial e a conectividade sedimentológica. Tendo como recorte espacial a bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó, localizada nos municípios de Coremas, Pombal, Cajazeirinhas São Bentinho e São José da Lagoa Tapada, no Estado da Paraíba. Para tanto, foram levantadas e identificadas barragens, passagens molhadas e pontes ao longo da bacia hidrográfica. Tendo sido selecionadas quatro passagens molhadas para análise e diagnóstico onde foram delimitadas as áreas de captação efetiva de cada estrutura com também a escala de tempo efetiva. Utilizando dados de precipitação de três estações pluviométricas, com séries históricas de vinte e seis anos, registrando eventos capazes de gerar modificações sedimentológicas e morfológicas expressivas, classificados em três magnitudes (alta, moderada e baixa). Em cada passagem molhada analisada foram coletadas amostras de sedimento e traçados perfis laterais a montante a jusante das estruturas a fim de analisar a destruição e deposição de sedimento e morfologia do canal. O que proporcionou a constatação de que as passagens molhadas possuem aptidão para atuarem como elementos interrupção de sedimentos, especialmente os mais grosseiros, a montante, e incentivam ao entalhamento do canal, a jusante. Mas que em vazões excepcionais permitem a transmissão de sedimentos, devido ao nível de colmatação do leito do canal a montante. Permitindo verificar a ocorrência de comportamento comum do sistema fluvial devido à presença de uma passagem molhada, possibilitando o desenvolvimento de modelo de estágios baseado no tempo de construção das estruturas, nas feições morfológicas e convivência com as magnitudes dos eventos precipitação/escoamento. Comparando o modelo de estágio e as passagens molhadas com outros tipos de pequenas intervenções longitudinais fluviais presentes na literatura internacional, foram verificadas semelhanças estéticas e estruturais com as *floodways* e *fords*, mas que funcionalmente as passagens molhadas encontram fortes semelhanças com *check dams* (barragens de controle), *Weirs* e *Sand Dams*, por terem predisposição a reterem sedimentos e alterarem a morfologia local dos canais onde estão instaladas.

Palavras chave: Semiárido, conectividade, área de captação efetiva, passagens molhadas.

LONGITUDINAL INTERFERENCE OF SMALL STRUCTURES IN THE RIVER'S  
SEDIMENTOLOGICAL CONNECTIVITY: LOW COURSE HYDROGRAPHIC  
BASIN OF THE PIANCÓ RIVER – PARAÍBA'S SEMIARID.

**Abstract**

In the Brazilian semiarid region, the human presence finds in the supply of water resources its greatest factor for the development of its activities. Coexistence with the semiarid region requires countless forms of adaptation and management by communities, municipalities, and other public spheres. In this region, the predominance of river behavior is intermittent and ephemeral regimes, with few exceptions. This characteristic requires a traffic infrastructure that allows the small rivers and streams bodies to be crossed even during the rainy season and that finds in wet passages a low-cost alternative, capable of supporting multiple levels of water flow. This work sought to evaluate the longitudinal influences provided by these structures to the river system and sedimentological connectivity. The spatial cutout was the low course hydrographic basin of the Piancó River, located in the municipalities of Coremas, Pombal, Cajazeirinhas, São Bentinho, and São José da Lagoa Tapada, in the State of Paraíba. For this purpose, dams, wet passages, and bridges along the hydrographic basin were raised and identified. Four wet passages were selected for analysis and diagnosis, and the effective capture areas of each structure were delimited, as well as the effective time scale. Using rain data from three rainfall stations, it was located in its historical series precipitation events capable of generating expressive sedimentological and morphological modifications, classifying it, therefore, into three types according to their magnitudes. In each wet passage analyzed sediment samples were collected and lateral profiles were drawn upstream and downstream of the structures to analyze the sediment's destruction and deposition and the channel morphology. This provided the finding that the wet passages have the ability to act as elements of sediment interruption, especially the coarser ones, upstream and encourage the carving of the downstream channel. However, in exceptional flows, they allow the transmission of sediments, due to the level of clogging of the upstream channel riverbed. Thus, there is a common behavior of the river system and the wet passages over time, and a model of behavior divided into four stages was developed, considering not only the temporality but also the coexistence with precipitation events and their magnitudes. Comparing the stage model and the wet passages with other types of small longitudinal fluvial interventions present in the international literature, aesthetic and structural similarities were verified with the floodways and fords, but functionally the wet passages find strong similarities with check dams, weirs, and sand dams, for having a predisposition to retain sediments and alter the morphology of the channels where they are installed.

**Keywords:** Semiarid, connectivity, effective capture areas, wet passages.



# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>XI</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>12</b>
<b>2 Objetivos</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
<b>3 Caracterização Da Área</b>	<b>14</b>
<b>4 Fundamentação Teórica</b>	<b>25</b>
4.1 Sistemas Ambientais Físicos em Ambientes Secos	25
4.2 Conectividade – hidrológica e sedimentológica	27
4.3 Conectividade Da Paisagem em Ambiente Secos	34
4.4 Pequenas Intervenções Longitudinais	38
<b>5 Materiais e Métodos</b>	<b>44</b>
5.1 Levantamentos e Mapeamentos	44
5.2 Trabalhos de campo e coleta de materiais	45
5.2.1 Granulometria	47
5.2.2 Utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT	50
5.3 Análise da conectividade	52
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
6.1 Elementos de interrupção.	57
6.1.1 Área de Captação Efetiva	59
6.1.2 Características e modificações morfológicas	66
6.1.3 Características sedimentológicas	79
6.2 Passagens molhadas e conectividade de sedimentos.	84
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>94</b>
<b>8 REFERÊNCIAS</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.....	14
Figura 2: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.....	17
Figura 3: Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó. ....	20
Figura 4: Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó. ....	21
Figura 5: Precipitação Média anual da Bacia Hidrográfica.....	22
Figura 6: Balanço Hídrico Normal Mensal – São Gonçalo. Para a Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó. ETP: Evapotranspiração Potencial. ETR: Evapotranspiração Real. ....	23
Figura 7: Tipos mais comuns de passagens molhadas. A – Passagem molhada não vazada, de argamassa e blocos de rocha, do tipo vertedouro. B – Passagem molhada vazada, composta por manilhas ao longo de sua estrutura. ....	40
Figura 8: Perfis laterais a montante e a jusante do ponto de interrupção. ....	46
Figura 9: Roteiro de procedimentos para separação das frações areias e cascalho. Elaborados através do <i>software</i> Bizagi Modeler.....	49
Figura 10: Roteiro de procedimentos para separação das frações silte e argila, para envio e análise granulométrica através de laser. Elaborado através do <i>software</i> Bizagi Modeler.....	50
Figura 11: VANT modelo Phantom4 e controle de voo aguardando a execução de aerolevantamento. ....	51
Figura 12: Fluxo de procedimentos executados na extensão ArcHydro Tools 2.0. Elaborado através do <i>software</i> Bizagi Modeler.....	54
Figura 13: Espacialização de elementos desconectantes no interior da BCH do baixo curso do Rio Piancó. ....	58
Figura 14: Mapa de localização dos pontos de interrupção selecionados e suas áreas de captação associadas à presença de barragens. ....	60
Figura 15: Mapa de área de Captação Efetiva de transmissão sedimentológica das passagens molhadas selecionadas. ....	61
Figura 16: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3. ....	69
Figura 17: Características morfológicas do ponto AP1: A – Feição da passagem molhada com aparente sedimentação alcançando o nível das manilhas na estrutura do aparelho; B – Registro da transição entre o leito do canal e a planície de inundação, com presença de cultivos na área sobrejacente a margem esquerda; C – feições do canal a jusante da passagem molhada, com registro de entalhe próximo a margem direita; D – visão da sedimentação a montante a partir da estrutura de interrupção, com presença de poço artesiano a aproximadamente 60 metros. ....	69
Figura 18: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3. ....	71
Figura 19: Características morfológicas do ponto AP2: A – visão de área a montante do canal a partir da passagem molhada, com detalhe para a largura do canal que chega a aproximadamente 5m e o contato entre a margem esquerda com o pedimento; B – Visão a jusante, com detalhe ao entalhe do canal e seu estreitamento; C – vista do comprimento parcial da estrutura de jusante para montante; D – margem direita com transição suave para a planície de inundação, que apresenta pontos alagados contribuindo para o canal; E – perspectiva entre o topo da passagem molhada e o canal, com detalhe para a presença de manilhas que não foram alcançadas pela sedimentação; F – Altura da passagem molhada com o terreno adjacente a montante.....	71
Figura 20: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3. ....	74
Figura 21: Características morfológicas do ponto AP3: A – Face a jusante da passagem molhada, com enxerto de blocos de rocha no canal com a finalidade de reduzi a escavação a jusante, próximo a estrutura, presença de manilhas; B – presença de margem direita rochosa a jusante do impedimento, com detalhe para estrada rural associada à estrutura; C – vista da área a montante do canal a partir da passagem molhada, com detalhe para sedimentação e canal pouco definido; D – Visão do impedimento a parti de área a montante, destaca-se a colmatção preenchendo o canal, tendo já alcançando as manilhas no meio da estrutura; E – detalhe da	

passagem de sedimentos a jusante da passagem molhada, em período seco; F – agradução de sedimentos de unidade registrada na imagem “E” em período úmido. ....	74
Figura 22: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3. ....	77
Figura 23: Características morfológicas do ponto AP3: A – visão de área a montante a partir da altura da passagem molhada de terra, em 06/2017, estrutura removida, destaca-se a sedimentação e a largura do canal que era de cerca de 4m; B – perspectiva da face da passagem molhada da terra a partir de área a montante, estrutura com manilhas ou formas de passagem de fluxo facilitada; C – vista de área a montante remobilizada a partir da nova estrutura da passagem molhada, alargamento do canal com a finalidade de represamento de água; D – passagem molhada construída dando lugar a estrutura de terra, presença de manilhas mais elevadas com objetivo de represar água, destaca-se a baixa sedimentação do trecho recentemente alterado; E – Área alagada a montante da passagem molhada, em período úmido; F – características a jusante do da passagem molhada, com a presença de afloramento rochosos associado com a deposição de entulho e resto de construção. ....	77
Figura 24: Distribuição proporções granulométricas das amostras coletadas nos pontos trabalhados, agrupados obedecendo as posições de Leito – L, Margem Direita – MD e Margem Esquerda – ME na sequência dos perfis laterais levantados, de jusante para montante. Amostras não coletadas foram enquadradas como rochoso. ....	82
Figura 25: Funcionamento dos estágios sequenciais e convivência com cenários de magnitude alta. ....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela das unidades litoestratigráficas presentes na Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.	18
Tabela 2: Tipologias de conectividade.	29
Tabela 3: Pequenas intervenções fluviais mais comuns na literatura internacional, divididas em duas tipologias, barragens e infraestrutura de tráfego.	43
Tabela 4: Tabela com os critérios de classificação das magnitudes dos eventos de precipitação. Média – M; Desvio Padrão – DP.	55
Tabela 5: Tipologia de impedimentos dos pontos selecionados e área drenada a partir do ponto de interrupção, considerando áreas conectadas e desconectadas.	62
Tabela 6: Limiares dos eventos de precipitação de acordo com cada estação pluviométrica utilizada.	62
Tabela 7: Série histórica (1994-2019), dos postos pluviométricos analisados, levantamento das ocorrências anuais dos eventos de precipitação, classificados por magnitude. Total dos eventos de precipitação por magnitude a partir dos postos pluviométricos. Média total das magnitudes dos eventos a partir dos postos pluviométricos analisados.	65
Tabela 8: Dados hidrodinâmicos dos diagramas de Pejrup e Shepard, gerados no <i>software</i> Sysgran.	83
Tabela 9: Painel síntese das características gerais dos pontos analisados. Área de captação efetiva: Desc - Desconectada, Eftv - Efetiva. Estimativa de Eventos: M.A – Magnitude Alta; M.M – Magnitude Moderada, e; M.B – Magnitude Baixa.	86
Tabela 10: Estágios sequenciais identificados na dinâmica fluvial e características de sedimentação de passagens molhadas em cursos intermitentes.	89

## LISTA DE SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MDE – Modelo Digital e Elevação.

PCH – Pequena Central Hidrelétrica.

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

LABMAT – Laboratório de Materiais Não-Metálicos

LEGAM – Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais

UFPB – Universidade Federal da Paraíba.

## 1 Introdução

As paisagens semiáridas apresentam como característica padrão a irregularidade pluviométrica. Em se tratando do semiárido brasileiro, são registradas médias que oscilam entre 600mm e 800mm ano, com a predominância de déficit hídrico na maior parte do ano. No contexto das feições ambientais, a paisagem tem no clima o *input* primário para o desenvolvimento das modificações e intensificação de processos modeladores.

Em sistemas fluviais semiáridos as variações climáticas encontram um dos seus principais demandantes, visto que a predominância dos rios na região semiárida nordestina é de regime intermitentes e/ou efêmeros, salvo poucos rios que possuem regime perene ou foram perenizados. A movimentação de matéria e energia, bem como o trabalho geomorfológico desses sistemas, vai encontrar nas entradas e saídas sua força motriz.

Na paisagem semiárida brasileira, a ocupação humana iniciada em períodos coloniais teve sua expansão sempre associada aos recursos hídricos e a adoção de medidas de convivência com as secas. A construção de açudes e grandes barragens serve como principal mecanismo de sustentação da vida e da atividade econômica.

Essas estruturas acabam por provocar aos sistemas ambientais alterações de comportamento, sendo objeto frequente de pesquisas, a avaliação o impacto de barragens em sistemas fluviais semiáridos. Um dos principais fatores de interferência dessas estruturas hídricas, é a capacidade de transmissão de matéria e energia no sistema fluvial, grosso modo água e sedimentos. Mudanças no comportamento fluvial também são verificadas em virtude da implantação desses aparelhos.

Interferida a transmissão, a conectividade desses sistemas fica comprometida, onde as barragens vão controlar a quantidade de matéria e energia as áreas a jusante do sistema. A noção de conectividade gira em torno da capacidade de transmissão/movimentação de matéria e energia no interior de um sistema fluvial. Na Geomorfologia, dentro da perspectiva da conectividade, é possível adotar existência de duas alas, a conectividade hidrológica e a sedimentológicas. Um sistema fluvial desconectado gera mudanças nas características e nos processos envolvidos na dinâmica fluvial.

Essa capacidade de interferência na conectividade fluvial não é exclusiva de grandes barragens, pequenas intervenções também vão influenciar essa dinâmica. Entre os principais representantes, se destacam pequenas barragens e açudes, passagens molhadas, pontes, e barragens subterrâneas. Cada elemento vai provocar mudanças no sistema que variam em escala temporal e espacial.

Na literatura nacional, as passagens molhadas são objeto de reduzidos estudos, sendo ausentes trabalhos que visem colaborar com a discussão dos impactos dessas estruturas. Entretanto, na literatura internacional construções semelhantes são objetos de análise por diversas áreas, como a ecologia, biologia, geomorfologia, hidrologia e engenharia. Dito isto, o presente trabalho busca contribuir com o debate acerca das influências que as passagens molhadas proporcionam ao sistema fluvial semiárido.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar como intervenções localizadas afetam a conectividade longitudinal de água e sedimento na bacia hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.

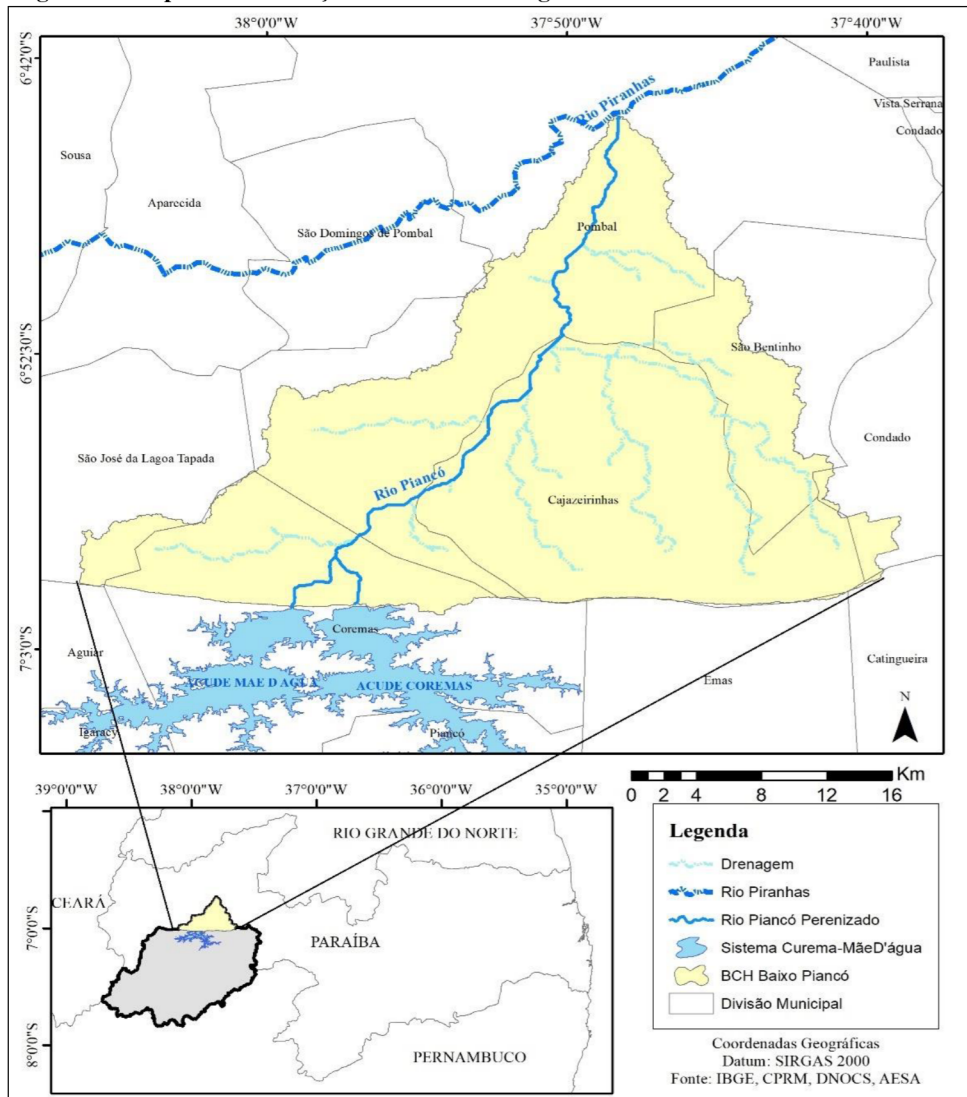
### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar os pontos de interrupção do fluxo de água e sedimento nos canais;
- ✓ Analisar os processos desconectantes gerados pelos impedimentos;
- ✓ Analisar a conectividade sedimentológica nos pontos de interrupção;
- ✓ Analisar qualitativamente e quantitativamente a área de captação efetiva de água e sedimento na bacia hidrográfica.

### 3 Caracterização Da Área

Sub-bacia do Rio Piranhas-Açu, a bacia hidrográfica do rio Piancó segue em sentido SW-NE, registrando área total de 9.207 Km<sup>2</sup>, alcançando 41 municípios. Seu baixo curso possui área em torno de 723 Km<sup>2</sup>, apresentando peculiaridade quanto ao regime fluvial, por dispor de regularização de fluxo, através de obras de engenharia hídrica. A secção do baixo curso recobre as áreas dos municípios de Cajazeirinhas, Coremas, Condado, São Bentinho, São José da Lagoa Tapada, São Domingos e Pombal. A porção sul é limitada pelo Lineamento de Patos, representada na paisagem pelo complexo da Serra de Santa Catarina, dando caráter retilíneo ao limite que divide o baixo e alto curso. Ao Norte, o Rio Piancó se liga ao Rio Piranhas, perenizando seu fluxo, seguindo sentido o Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

**Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.**





Inserida na mesorregião do sertão paraibano e nas microrregiões de Piancó e Souza, situada especificamente na depressão sertaneja. Seu baixo curso tem extensão do canal de aproximadamente 45,4 km, até sua confluência com o Rio Piranhas, no município de Pombal, apresentando comportamento diferenciado frente ao registrado no semiárido brasileiro, por dispor de regularização de curso, tornando todo trecho do canal principal perenizado, diferentemente ao que ocorre com os tributários que apresentam regimes intermitentes e efêmeros. A regularização de fluxo presente no baixo curso, se deu em virtude da construção do sistema de barragens Curema-Mãe D'água, sob responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, em que o açude de Curema barra o Rio Piancó e o açude de Mãe D'Água represa o Rio Aguiar, principal afluente do Rio Piancó. Com capacidade conjunta de armazenamento hídrico de 1,360 bilhões de m<sup>3</sup>, tendo o Curema 720 milhões de m<sup>3</sup> e o Mãe D'Água 638 milhões m<sup>3</sup> (MARINHO, 1939; AGUIAR, 1941; MOURA, 2007; DNOCS, 2016).

Do ponto de vista da conectividade, hidrológica e especificamente sedimentológica, o sistema de barragens funciona como delimitador de uma nova bacia, que geralmente, não dispondo do *input* de sedimentos advindos do alto e médio curso dos Rios Piancó e Aguiar, atuando como armadilha de sedimentos. Esses barramentos intervêm nos sistemas fluviais de formas distintas.

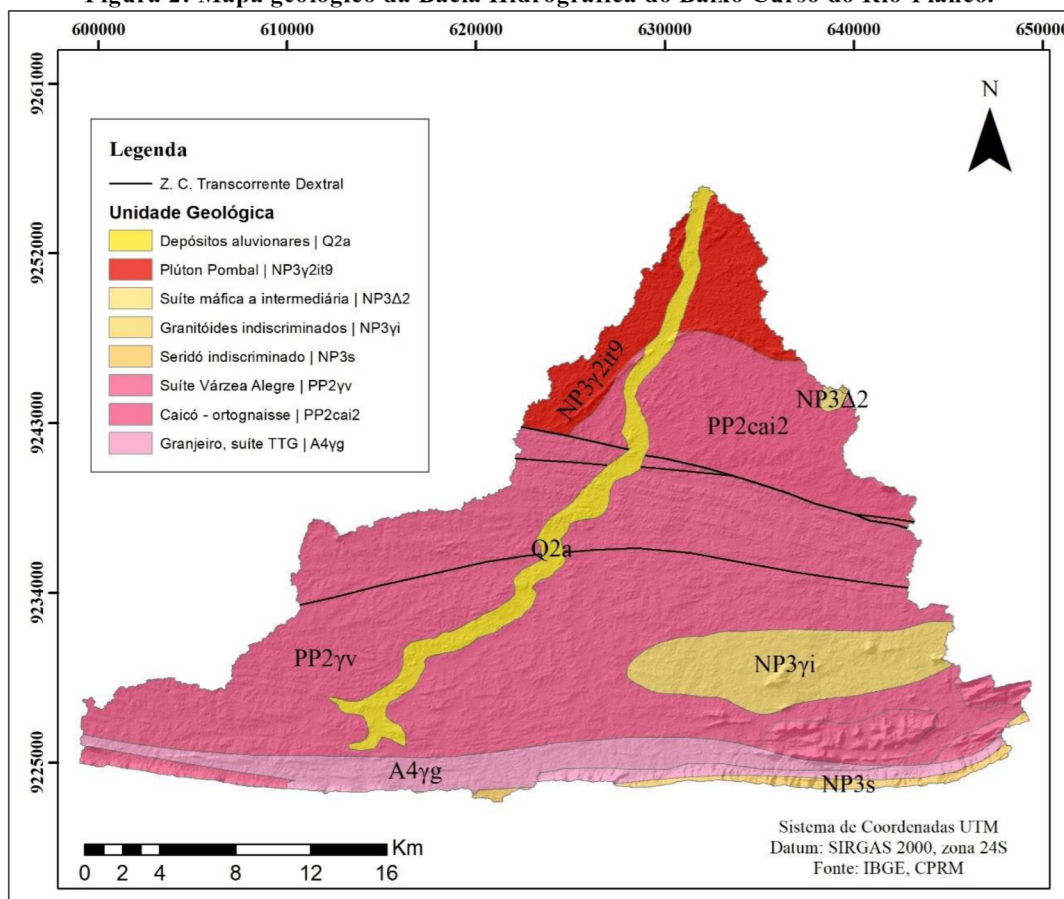
O açude de Curema, possui tomada D'água para regulação de fluxo, permitindo mesmo que inexpressivamente a passagem de sedimentos em suspensão, essa captação é aproveitada por uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH, sob responsabilidade da Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF. Já a barragem de Mãe D'água não dispõe de mesma característica, dispondo de um sangradouro do tipo vertedouro, só permitindo a passagem de água e sedimentos em suspensão quando atinge a cota de armazenamento.(MARINHO, 1939; AGUIAR, 1941; MOURA, 2007; DNOCS, 2016).

A paisagem semiárida brasileira apresenta entre seus processos formadores da paisagem, uma gama de fatores. Aborda-los separadamente interfere na dinâmica integrativa presente nesses ambientes, significando que cada processo demanda grau de dependência com outro. Dito isso, a geologia e o clima fornecem as bases para o funcionamento e desencadeamento das características de vegetação, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas presentes na região (ARAÚJO, 2018).

A geologia regional da região proporciona características fisionômicas na paisagem que permitem ao pesquisador analisar o comportamento dos elementos atuantes. Com características geológicas enquadradas na seção oriental da província Borborema, constituindo-se de embasamento cristalino com unidades litoestratigráficas pré-cambrianas (do neoproterozoico, paleoproterozoico e arqueano), havendo exceções recentes de formações aluvionares cenozoicas, com a presença de areias, cascalhos e argilas (MOURA, 2007; MAIA et al., 2010). Inserida na porção noroeste da Província Borborema, com origem relacionada com o ciclo transamazônico, com modificações advindas de eventos tectônicos, em especial o ciclo Brasileiro/Pan-Africano (MEDEIROS et al., 2008).

Regionalmente a província é subdividida em domínios, onde são de interesse o Domínio da Zona Transversal e o Domínio Rio Piranhas-Seridó (MEDEIROS et al., 2008). Os limites entre os domínios desta província são marcados por zonas de cisalhamento, se destacando a Zona de Cisalhamento Patos, conhecido por Lineamento de Patos. As unidades geológicas presentes na área da bacia hidrográficas em enfoque, foram identificadas como sendo as seguintes: Suíte Granjeiro TTG, Complexo Caicó, Suíte Várzea Alegre, Grupo Seridó Indiscriminados, Granitóides indiscriminados, Suíte Máfica a Intermediária, Plúton Pombal e Depósitos Aluvionares (Figura 2 e Tabela 1).

**Figura 2: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.**



As unidades cenozoicas são representadas por áreas de depósitos aluviais presentes nas principais drenagens da bacia, em que pese o leito fluvial do rio Piancó, em sua extensão, sendo o material formador das planícies de inundações ativas, sujeitas ao extravasamento do fluxo, e áreas de terraços aluvial, desconexa das influências das inundações habituais do canal. Entre as unidades, a diferença altimétrica se faz presente, mas que se constituem por serem superfícies de baixa declividade, compostas principalmente por sedimentos arenosos, com a presença de porções cascalhosas e/ou argilosas.

**Tabela 1: Tabela das unidades litoestratigráficas presentes na Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.**

Éon	Era	Período	Idade (Ma)	Unidade Geológica	Litologia
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	< 1,75	Depósitos Aluvionares	Areia, argila e cascalho.
Proterozóico	Neoproterozóico	Neoproterozóico III	571	Plúton Pombal	Granito e granodiorito grosso a porfirítico, diorito
			579	Suíte Máfica a Intermediária	Gabro, gabronorito, diorito
			542 - 630	Granitóides Indiscriminados	Granitóides diversos
			640 - 650	Grupo Seridó Indiscriminado	Xisto, quartzito, mármore
	Paleoproterozóico	Raiciano	2193	Suíte Várzea Alegre	Ortognaisse tonalítico-granodiorítico, migmatito
			2146 - 2242	Complexo Caicó	Gnaisses, migmatitos, ortognaisses, leucortognaisses, anfibolitos
Arqueano	Neo-Arqueano	,	2541	Suíte Granjeiro TTG	Ortognaisses, metavulcânicas, gnaisses, quartzitos

Fonte: CPRM, 2008.

Componente do período Neoproterozóico III, a unidade do Plúton Pombal, pertencente a chamada Suíte Intrusiva Itaporanga, caracteriza-se por granitoides de grãos grossos variando entre granitos, granodioritos e quartzo monzonitos porfirítico, predominantemente leucocráticos. Com a presença de fenocristais de feldspato não maiores que 3 cm de comprimento, salvo exceções em que os cristais variam de 4 cm a 5 cm. (ALMEIDA; LEONARDOS; VALENÇA, 1967; MARIANO; SIAL, 1990; GRAF, 2006; MEDEIROS et al., 2008; ALCANTARA et al., 2016).

A Suíte Máfica a Intermediária, também conhecida por Suíte Intrusiva São João do Sabugi é constituída entre suas litologias por dioritos, gabros, gabronoritos, quartzo dioritos e em proporções menores quartzomonzonitos, com coloração acinzentada escura e/ou preta a verde escura. Guardam associação com os granitoides da já mencionada Suíte Intrusiva Itaporanga, dispostas em misturas magmáticas (MEDEIROS et al., 2005). Na bacia do baixo Piancó essa unidade se encontra na porção nordeste da área, representada por fragmento inserido no corpo do Plúton Pombal.

Os Granitóides Indiscriminados são granitóides que não apresentam informações químicas suficientes para serem enquadrados completamente, recebendo nomenclaturas como Granitóides Diversos ou Granitóides de Quimismo Indiscriminado (MEDEIROS et al., 2005; ALCANTARA et al., 2016).

Localizado nas áreas mais próximas ao complexo da serra de Santa Catarina, geradas pela existência de uma falha, conhecida por lineamento de Patos, está o Grupo Seridó Indiscriminado, uma das unidades mais representativas do Grupo Seridó, constituída por Granada-biotita xisto, cordierita-granada-biotita xisto, quartzito, filito, calcário cristalino e mármore (CAVALCANTE et al., 2014)

As unidades Suíte Várzea Alegre e Grupo Caicó, apresentam correlação, o que para alguns trabalhos enquadram a suíte como componente desse grupo. Recobrimo as áreas centrais da área da bacia hidrográfica, com a predominância de metavulcanossedimentares como anfibólio, gnaisses bandados e metavulcânicas; e metaplutônicos em que destacam ortognaisses graníticos, granodioríticos tonalíticos acinzentados. Os altos graus de metamorfismos presentes nessas rochas, tornam em alguns casos a associação dificultosa (MEDEIROS et al., 2005; ALCANTARA et al., 2016).

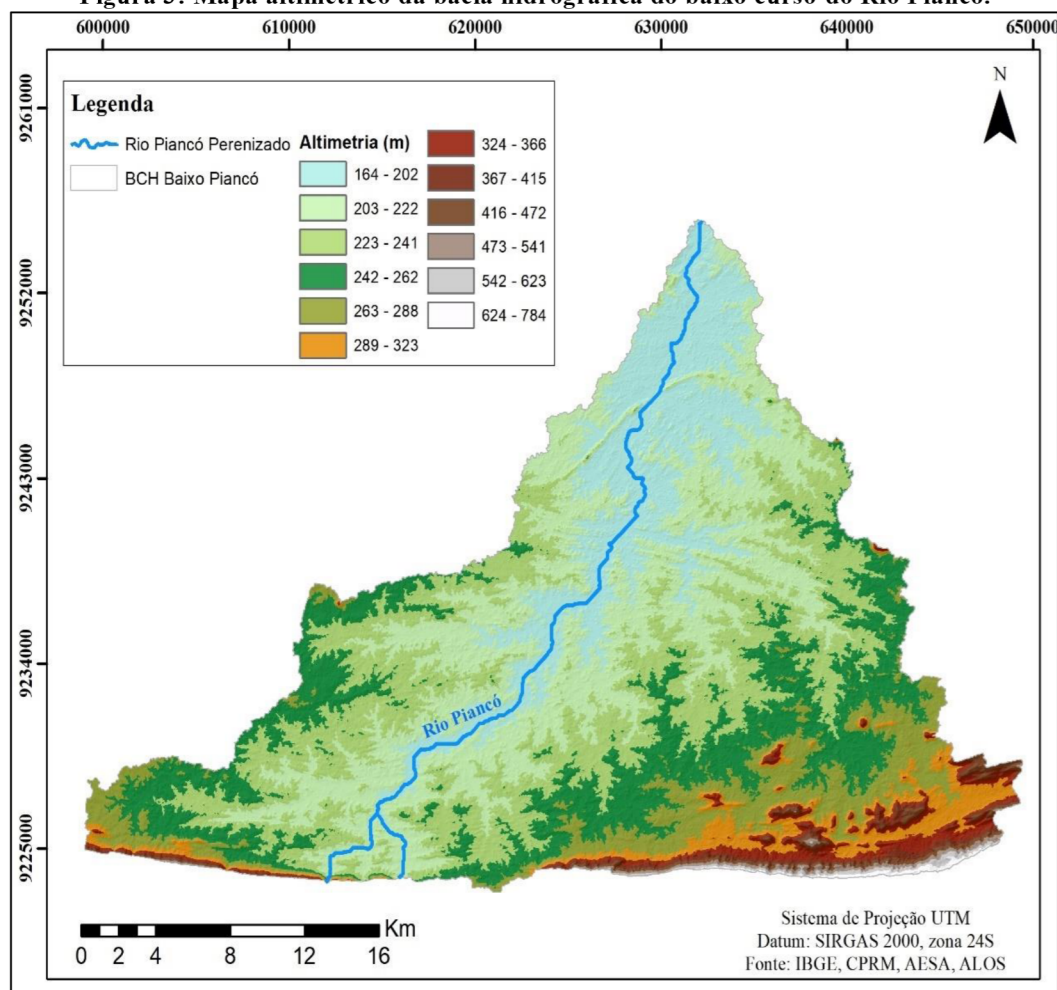
Sendo o terreno mais antigo presente na área do baixo curso do Rio Piancó, a unidade Granjeiro Suíte TTG compõe o complexo granjeiro, caracteriza-se por ortognaisses máficos intermediários, metavulcânicas máficas, anfibólitos, gnaisses físcos finos e biotitas gnaisses/xistos, quartzitos e formações ferríferas (FERRIERA; SANTOS, 2000; MEDEIROS et al., 2005; ALCANTARA et al., 2016). Presente nas áreas mais elevadas, próximas a falha do lineamento de patos, apresentando graus de metamorfismo e maior resistência aos processos denudacionais.

A presença das zonas de cisalhamento, em especial o lineamento de patos, promove o desenvolvimento de complexo de serras de sentido E-W essas se caracterizam por rochas metamórficas, originadas no pré-cambriano, em que se destacam gnaisses e migmatitos, associadas a relevos acidentados circundado por superfícies aplainadas (MAIA et al., 2010; ARAÚJO, 2018).

A topografia reflete as características geológicas da área, bem como sua dinâmica superficial. Inserida na depressão sertaneja, não apresenta variações altimétricas abruptas, com cotas mínimas de 164m e alcançando máximas de 784m, com altitude média de

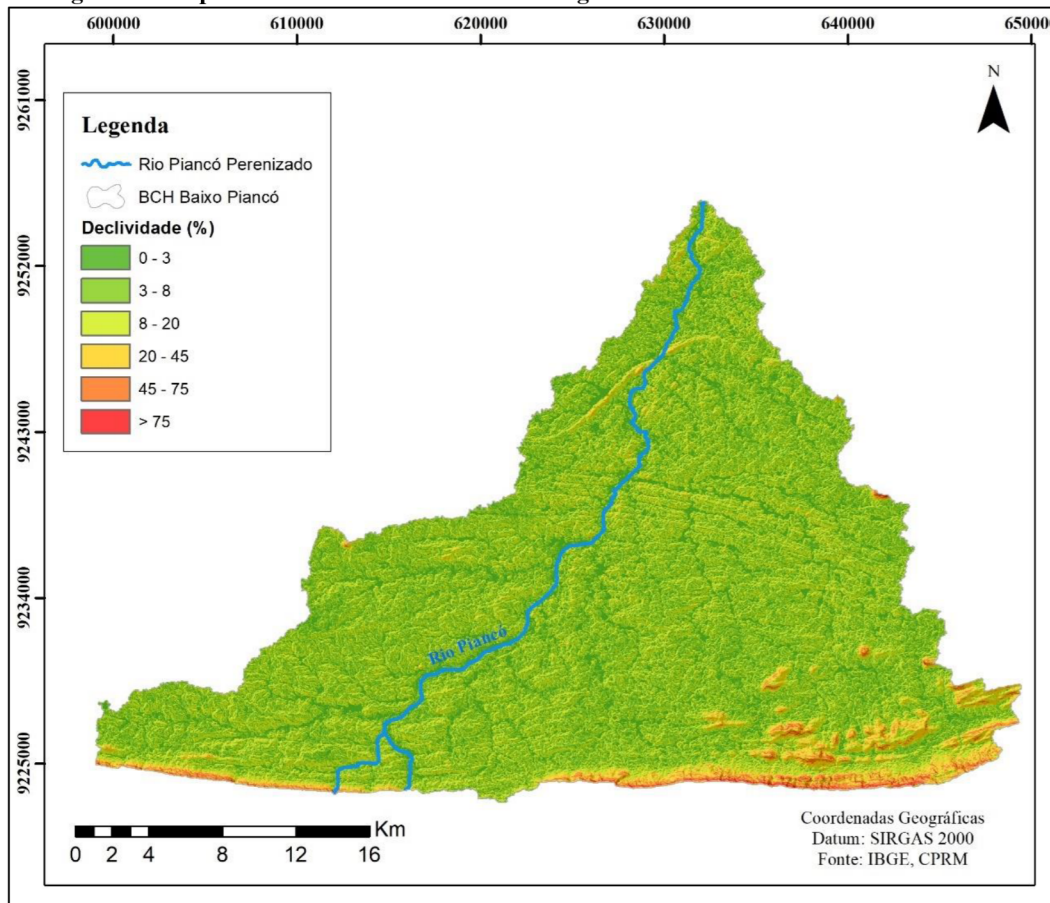
242m (Figura 3). As áreas mais elevadas se encontram próximas aos divisores topográficos e na presença de afloramentos rochosos como *inselbergs* e cristas na porção sul e sudeste da bacia, coincidindo com a zona de cisalhamento de patos, apresentando um relevo mais íngreme, destoante das demais áreas da bacia, sendo áreas rebaixadas típicas de pedimentos dissecados. Essa perspectiva angaria maior compreensão quando analisada em parceria com a declividade da área (Figura 4). Apresentando áreas íngremes próximas as estruturas rochosas e divisores topográficos, tendo a área central da bacia em que predomina relevos planos e dissecados, registrados próximos ao vale fluvial com a presença de depósito aluvionares, que foram depositados.

**Figura 3: Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó.**

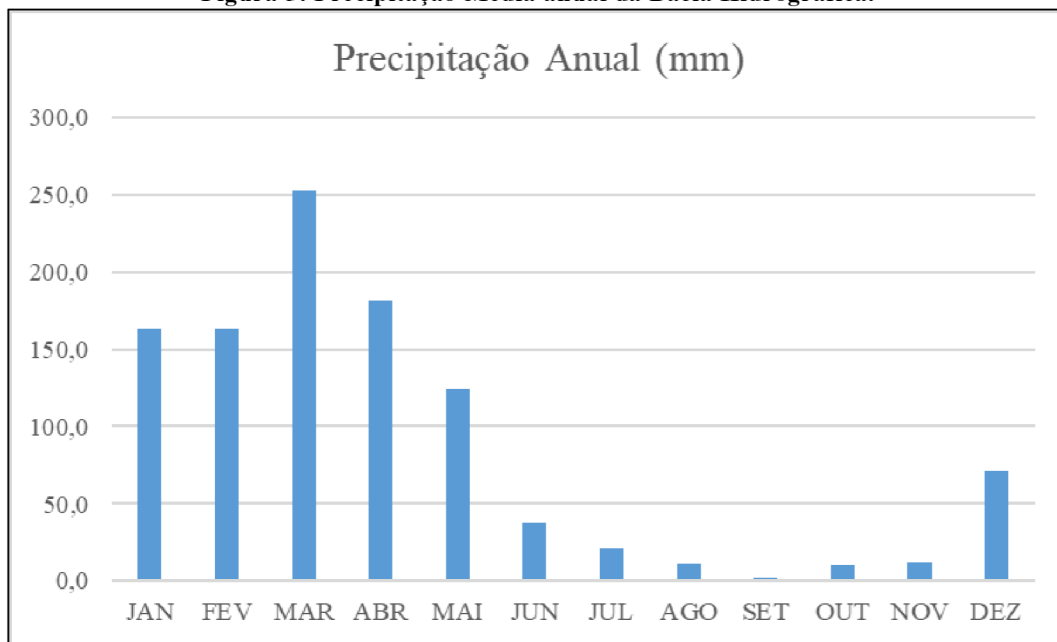




**Figura 4: Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó.**



Entre suas características climáticas, consta o clima tropical semiárido, com taxas elevadas de insolação, com temperaturas médias variando entre 23,4°C a 27,9°C com máximas que chegam a 35,7°C, tendo assim elevada amplitude térmica, o que corrobora com as altas taxas de evaporação média, com valores anuais ultrapassando 2.500mm (MOURA, 2007; INMET, 2018). Havendo déficit hídrico quando comparadas com as taxas pluviométricas anuais que apresentam média de 1.000 mm. Sob influência principal da Zona de Convergência Intertropical ZCIT, sendo a principal responsável pelo regime pluviométrico da região nordeste, com o chuvas de verão, ocorrendo entre os meses de janeiro e maio (Figura 5) (CPRM, 2005; MOURA, 2007; NÓBREGA; SANTIAGO, 2016; ARAÚJO, 2018). O complexo de serras presentes na porção sul da bacia, acaba por atuar de maneira diferenciada, por serem áreas elevadas recebem a atuação de ventos úmidos que permitem maior desenvolvimento fisiográfico da vegetação.

**Figura 5: Precipitação Média anual da Bacia Hidrográfica.**

Fonte: Estação Pluviométrica – São Gonçalo nº 82689, INMET.

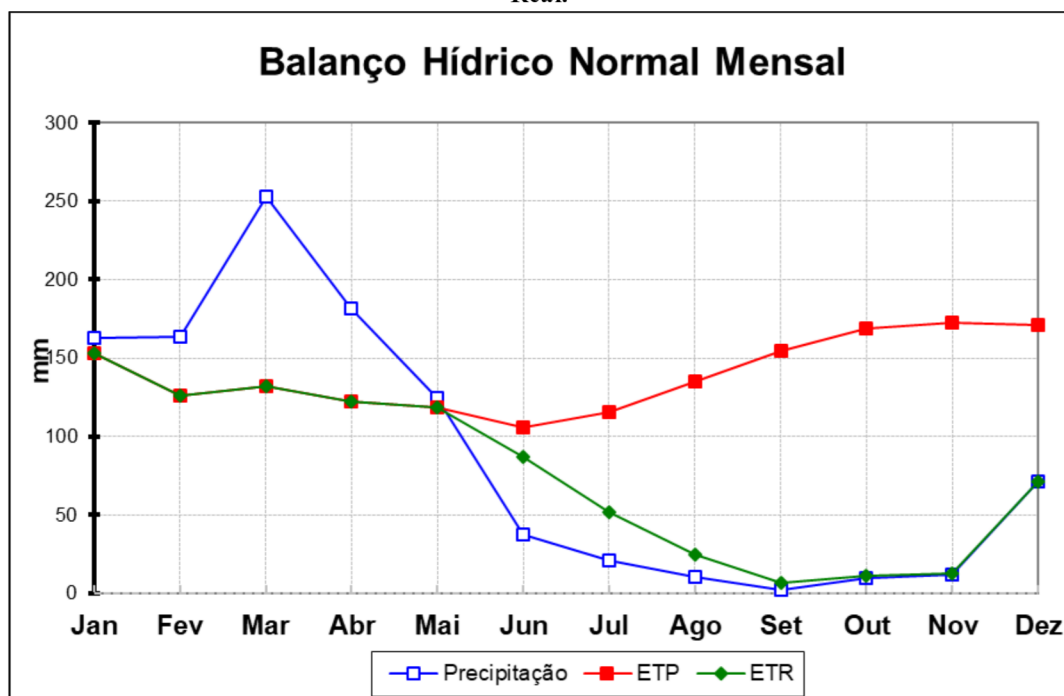
Ao analisar o balanço hídrico simplificado, é possível assimilar a disposição da dinâmica hídrica na região, onde são observadas as entradas e saídas em uma determinada localidade. Está a possibilidade de identificação de períodos de recarga, excesso e deficiência hídrica, usando o modelo matemático desenvolvido por Thornthwaite e Mather, (1955). A importância de estimar o balanço hídrico se dá em virtude da importância que a água desempenha nas atividades humanas (FRANCISCO; MEDEIROS; SANTOS, 2018).

O balanço hídrico considera a precipitação mensal (P), a evapotranspiração potencial (ETP) e a capacidade de água disponível no solo (CAD), permitindo o reconhecimento da evapotranspiração real (ETR), de excedentes e deficiências hídricas. A ETP é entendida como a quantidade de água transferida para a atmosfera em processos de transpiração e evaporação, em uma determinada área com vegetação bem suprida. Já a ETR é a quantidade de água também transferida à atmosfera através de processos de transpiração e evapotranspiração, mas em condições reais de elementos atmosféricos e de umidade do solo, sendo sempre igual ou menor que a ETP (TUCCI; BELTRAME, 1997). Considerando que a capacidade de água disponível no solo (CAD) tem o valor padrão de 100mm para a região tendo por base o levantamento executado por Francisco et al, (2018).



O déficit hídrico verificado para a região ocorre entre os meses de junho a dezembro com a ETP superior a precipitação (Figura 6). Mudando de cenário entre os meses de janeiro a maio quando os valores médios de precipitação excedem os valores de evapotranspiração potencial e real, havendo assim excedente, possibilitando recargas. Outrossim é o pareamento entre os valores médios de ETR e ETP entre os meses de janeiro a maio, colocando o volume de água presente no sistema compatível com a ETP.

**Figura 6: Balanço Hídrico Normal Mensal – São Gonçalo. Para a Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó. ETP: Evapotranspiração Potencial. ETR: Evapotranspiração Real.**



Fonte: Estação Meteorológica – São Gonçalo nº 82689, INMET.

As características pedológicas presentes na bacia, dão predominância a presença de Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico, Neossolo Flúvico, Luvisolo Crômico e Planossolo Háptico. A distribuição na paisagem, dessas classes de solos estão associadas as características geológicas, topográficas e de declividade, através de uma catena. A composição da catena presente na área é típica do semiárido nordestino, retratando os pedimentos da depressão sertaneja e o contato dessa com relevos residuais (CPRM, 2005; CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014; ALCANTARA et al., 2016; ANA, 2016)

Nas áreas mais próximas aos afloramentos e ao complexo de serras se localizam solos pouco desenvolvidos, como o Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico sendo rasos, pedregosos com fertilidade natural média. O Luvisolo Crômico se encontra em áreas declivosas, com predominância de relevos ondulados e forte ondulados, sendo raso e

fertilidade natural alta, tendo suscetibilidade para intensificação de processos erosivos. O planossolo, consta em áreas de relevo plano e suave ondulado, ocorrendo nos pedimentos, sendo mal drenados. Destaca-se a ocorrência comum de luvisolo e planossolo nas rampas de pedimentos com declividades baixas, predominantes na área. Já o Neossolo Flúvico, se restringe às áreas próximas aos cursos fluviais, com a presença de depósitos aluvionares e relevo predominantemente plano.

O desenvolvimento pedológico tem relação com as características litológicas, em que o material parental proporciona as bases para o desenvolvimento do perfil de solo adjacente, exemplificada pela presença de neossolos (regolítico e litólico) próximas as estruturas pré-cambrianas representados pelos afloramentos e estruturas metamórficas presentes na porção sul da bacia; características climáticas, através da precipitação e temperatura, ditando a velocidade e intensidade do desenvolvimento pedológico; e topográficas, onde as características do terreno como forma e declividade, proporcionando a concatenação dos atores primários envolvidos na dinâmica pedogenética variando de acordo com as características das vertentes (KÄMPF; CURI, 2015).

Com vegetação típica de caatinga, xerófilas, se configurando por plantas que trocam as folhas, podendo possuir espinhos, buscando conservar água e dispõe de raízes profundas capazes de armazenar água. A vegetação na área tem porte predominante de caatinga arbórea, com manchas de caatinga arbustiva e áreas degradadas, com ausência de vegetação ou com indivíduos especializados (CPRM, 2005; MOURA, 2007). A presença de fragmentos expressivos está localizada próximos aos cursos fluviais, dados a aporte hídricos dos aquíferos aluviais, e próximas aos afloramentos rochosos, como *inselbergs* e cristas. Outros fatores corroboram para a redução de parcelas expressivas da vegetação, entre eles estão os aquíferos fissurais, a alta suscetibilidade a erosão dos solos e os padrões de uso cobertura.

Frente ao uso e cobertura, apresenta relação com as atividades econômicas imperantes na região, se destacando a pecuária, com foco na criação de bovinos, caprinos e ovinos, agricultura, em que destaca o cultivo de milho e feijão. Os aglomerados populacionais se concentram nas sedes municipais dos municípios de Pombal, Coremas e São Bentinho, com a existência de povoados e distritos em zona rural. A presença desordenada de barramentos na bacia hidrográfica não difere ao que ocorre em outras bacias hidrográficas semiáridas (ANA, 2016).

## 4 Fundamentação Teórica

Amparada nas características de movimentação de matéria e energia no interior de uma bacia hidrográfica, a noção de conectividade exerce um papel integrativo entre os diversos fatores atuantes na paisagem. Entender e abordar os *inputs* e *outputs* do sistema de maneira analítica, considerando o comportamento das características fisiográficas e os moldes de transmissão da paisagem frente à entrada e saída de sólidos e líquidos.

As noções de espaço e tempo são de extrema importância para o estudo da conectividade, assimilar essas bases auxilia a capacidade análise, conseqüentemente, permite compreender como elementos do sistema, alteram e impactam em seu comportamento. Esses elementos por vezes possuem gênese diversa, variando de características naturais à antrópicas (FRYIRS et al., 2007a)

Permitir traçar e diagnosticar cenários do sistema, abordando a complexidade existente na paisagem, é de suma importância, sendo a conectividade capaz de auxiliar tais objetivos, possibilitando integrar e avaliar as relações entre elementos do sistema.

A formatação do arcabouço teórico tem por finalidade a sustentação das concepções aqui dispostas. Almeja-se com isto discorrer sobre os Sistemas Ambientais Físicos dando ênfase aos ambientes secos, adentrar nas concepções de conectividade da paisagem em regiões semiáridas.

Alcançando a especificidade da conectividade hidrológica e sedimentológica, finalizando com as noções dos modelos teóricos metodológicos aplicados ao semiárido, que possibilitam potencializar análises e entendimentos.

### 4.1 Sistemas Ambientais Físicos em Ambientes Secos

A concepção sistêmica, tem em suas bases a compreensão da complexidade instalada na dinâmica das paisagens e de outras tipologias organizacionais do espaço, sendo objeto de estudos geográficos e ambientais (MARQUES NETO, 2008; ALMEIDA, 2017). Um sistema complexo pode ser definido como agregado de variáveis que apresentam inter-relações e noções hierárquicas (CHRISTOFOLETTI, 1999; VICENTE; PEREZ FILHO, 2003).

Almeida (2017) ao abordar as considerações de Christofolletti (1999), quando o autor trouxe em sua obra a relações que a complexidade traz consigo, colocou:

(...) a complexidade ultrapassa o paradigma mecanicista e fixa suas bases na

concepção de que a maior parte da natureza é não-linear, ou seja, a resposta dada a determinado distúrbio nem sempre é proporcional à sua intensidade; comportando-se como um sistema dinâmico e caótico. Deste modo, os sistemas complexos apresentam uma desordem estrutural e comportamento caótico dos processos (ALMEIDA, 2017, p.18).

Os sistemas ambientais físicos representam a concretização das relações complexas atuantes na paisagem. Permitindo a análise e a compreensão da dinâmica presente nos elementos e processos envolvidos na dinâmica natural.

Utilizar a bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento, é importante, principalmente na região semiárida, em que se aborda a importância hídrica e a falta de ordenamento territorial da água. O gerenciamento das características ambientais, onde a água é um elemento preponderante, implica significativamente no comportamento hidrológico-sedimentológico no interior do sistema fluvial (VIEIRA, 2003).

A bacia então, pode ser entendida como uma sistema aberto, recebendo influências endógenas e exógenas, mas que perde através da saída da água, sedimentos e nutrientes através de um exutório (COELHO NETTO, 1998; SOUZA, 2011). Abordar esse recorte espacial, o uso de uma episteme sistêmica, capaz de amparar análises integradas no exame de múltiplos elementos do ambiente fluvial, se faz necessário (SOUZA, 2013).

O sistema fluvial semiárido quando observado sob a teoria do *continuum fluvial*, onde o rio é encarado através de zonas processuais – produção, transporte e armazenamento de sedimentos, delimitadas mediante identificação dos processos predominantes, não excludentes (VANOTE et al., 1980), permitindo avaliar a capacidade de transmissão em um sistema fluvial.

Esse sistema responde de maneira diferente às intervenções, que de alguma maneira influenciam seu comportamento. Esta capacidade de resposta varia substancialmente e reflete as características de transferência e/ou absorção, espacial e temporalmente, matéria e energia entre as unidades da paisagem (HOOKE, 2003; DUARTE; MARÇAL, 2017).

Entendendo uma bacia hidrográfica com sistema, tendo como matéria em movimento a água, os sedimentos e elementos dissolvidos. O entendimento quanto ao contexto transmissivo se faz preponderante para o desenvolvimento de qualquer análise da dinâmica presente em uma bacia.

Assim, o conceito de sistema fluvial pode ser interpretado como zona de fonte de sedimentos, a rede drenagem e as áreas de deposição (SOUZA, 2013), toma conotação e uso frequente ao abordar as nuances aplicadas aos estudos geomorfológicos. O desenvolvimento e evolução de uma rede de drenagem é influenciado por vários fatores, entre eles geologia, vegetação, clima e o contexto histórico da bacia hidrográfica (CHARLTON, 2008).

A complexidade atrelada ao sistema fluvial, tem na conectividade da paisagem a oportunidade de analisar os diferentes fatores influenciadores do sistema em interação e influenciando a capacidade transmissão. Atuando em variadas escalas, temporais e/ou espaciais, possibilita que seja possível compreender quais áreas/seções trazem *inputs* significativos de água e sedimento em uma bacia de drenagem (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006), sendo o tema chave para o desenvolvimento deste trabalho.

#### **4.2 Conectividade – hidrológica e sedimentológica**

Associado ao sistema fluvial, encontra-se a noção de conectividade da paisagem, que pode ser previamente entendida como a ligação física entre os compartimentos de uma bacia hidrográfica, estando conectada a paisagem que é capaz de transmitir matéria e energia através das seções até um determinado exutório (HARVEY, 2002; HOOKE, 2003; FRYIRS; BRIERLEY, 2005; BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; DUARTE; MARÇAL, 2017).

Quando analisada através do comportamento de seus compartimentos, interações e relações, a conectividade entre eles possibilita assimilar o trabalho dos processos geomórficos em qualquer sistema. Entender essa conectividade é essencial no detalhamento das relações espaciais, dos fluxos bióticos e abióticos e dos ajustes (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006), considerando o movimento como o elemento preponderante nessa relação (TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2008).

A conectividade conceituada objetivamente, entende-se como a capacidade de transmissão de matéria e energia entre seções da paisagem ou no interior de um sistema, estando conectado quando o sistema for capaz de transmitir elementos da entrada até uma saída (WHARTON, 2006).

Associado ao conceito de conectividade, a sensibilidade da paisagem dispõe de forte aplicação às noções de transmissão de fluxos e sedimentos nos sistemas fluviais, como abordado por Brunsden e Thornes (1979) (SOUZA; CORREA, 2012).

Compreendida como a capacidade da paisagem experimentar mudanças das formas de relevo, isto é, a probabilidade de que mudanças nos controles do sistema produzirão respostas reconhecíveis, mas que não perdem sua complexidade (BRUNSDEN; THORNES, 1979; BRUNSDEN, 2001).

Os padrões de conectividade de transmissão são trabalhados em três estágios, sendo estes: Estágio conectado, quando ocorre a movimentação de fluxos entre as unidades da paisagem ou do sistema, de forma livre; Estágio parcialmente conectado, relacionado a redução da transmissão devido a impedimentos, entretanto, é possível que alguns fluxos superem esses impedimentos, ficando na dependência de eventos que possibilitem tal cenário, e; Estágio desconectado, quando a transmissão é interrompida ou reduzida potencialmente em decorrência de um impedimento, podendo essa ser temporário ou não (FRYIRS, 2013; SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016).

As formas de interferência do fluxo de água e sedimento no interior do sistema, através de impedimentos e bloqueios, são entendidas como feições geomorfológicas de origem natural ou antrópica (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007b; DUARTE; MARÇAL, 2017).

Identificar os elementos desconectantes que impedem e/ou reduzem a capacidade conectiva em uma bacia hidrográfica, frente a transmissão de matéria e energia, se faz necessário, por permitir o entendimento das influências que a unidade desempenha no sistema. Dito isso, os bloqueios podem ser analisados em três tipos: zonas tampão (*buffer*), barreiras (*barriers*) e zonas de cobertura (*blankets*) (FRYIRS et al., 2007a; SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016; DUARTE; MARÇAL, 2017).

Duarte e Marçal (2017) ao trabalharem a conectividade de paisagem, abordam as tipologias desenvolvidas no trabalho de (FRYIRS et al., 2007a), agregando as seguintes considerações:

As **zonas tampão** são formas que impedem a entrada de sedimentos na rede de canais e perturbam a conectividade lateral. As **barreiras** estão presentes no interior da rede de canais e influenciam a conectividade longitudinal. Já as **zonas de coberturas** rompem as ligações verticais, podem ocorrer ao longo do canal e sua planície de inundação (2017, p. 756)[**grifo nosso**].

O uso dessa classificação permite a aplicação em elementos de gênese natural e/ou antrópica (DUARTE; MARÇAL, 2017), identificando o papel desses elementos e seus impactos na capacidade conectiva do sistema, depende intrinsecamente da escala utilizada (FRYIRS et al., 2007b).

A natureza e a efetividade das ligações, sejam elas longitudinais, laterais e verticais, são influenciadas por múltiplos processos em uma bacia hidrográfica, de modo que os fluxos estejam conectados ou desconectados em diferentes intervalos de tempo. O padrão temporal e espacial da conectividade da paisagem influencia diretamente a capacidade e taxa de resposta do sistema fluvial, sujeitando a interferências no potencial de recuperação mediante perturbação (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a; WOHL, 2017).

A conectividade pode ser analisada através de três tipologias distintas, mas complementares umas às outras (Tabela 2), apresentando bases teóricas próprias. Contudo, somente será objeto de análise a conexão de água e sedimentos no interior do sistema, respectivamente as noções de conectividade hidrológica e sedimentológica (HOOKE, 2003; BRACKEN; CROKE, 2007; BRACKEN et al., 2013). A escolha ocorreu observando a concordância entre os conceitos, o que corrobora para o presente trabalho.

**Tabela 2: Tipologias de conectividade.**

Conectividade da Paisagem	Conectividade Hidrológica	Conectividade Sedimentológica
Relacionada à conexão física das formas de relevo no interior de um sistema. O acoplamento entre a encosta e o canal fluvial.	Trata da transmissão de água de uma seção do sistema para outra. Sendo o escoamento seu representante mais significativo.	Transferência física de sedimentos entre os compartimentos de uma bacia hidrográfica. Bem como o potencial de transmissão de uma partícula.

Adaptado de: (HOOKE, 2003; BRACKEN; CROKE, 2007; BRACKEN et al., 2013).

Tais tipologias remetem a um objeto de análise, entretanto, registra-se a ocorrência de incongruências, por parte dos pesquisadores que as utilizam, em especial a conectividade da paisagem.

Essa última foi inicialmente desenvolvida em estudos de cunho ecológico, voltados ao acoplamento da paisagem, analisando o fluxo gênico (TISCHENDORF; FAHRIG, 2000; HECKMANN et al., 2018), ganhando uso na geomorfologia e hidrologia (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; BRACKEN; CROKE, 2007; LEXARTZA-ARTZA; WAINWRIGHT, 2011; BRACKEN et al., 2013; PARSONS et al., 2015; WOHL, 2017; HECKMANN et al., 2018).

Brierley, Fryris e Jain (2006) ao abordarem o conceito de conectividade da paisagem, atentaram às noções físicas de acoplamento da paisagem, dispondo o funcionamento do sistema geomórfico quando conectado e seus desagregos quando, total

ou parcialmente, desconectado. Tratando a conectividade da paisagem como a capacidade potencial de conexão, não colocando em destaque variáveis ecológicas, como o fluxo gênico das espécies.

Souza; Corrêa e Brirley (2016) também utilizaram o rótulo de conectividade da paisagem para tratar da conectividade hidrológica e sedimentológica, na bacia hidrográfica do Riacho do Saco, no nordeste brasileiro. Os autores detalharam a área de captação efetiva, observando a magnitude dos eventos de precipitação e o comportamento da bacia na transmissão de água e sedimentos (SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016).

Duarte e Marçal (2017) analisando a bacia hidrográfica do Rio Sana, fizeram uso da égide da conectividade da paisagem. Entretanto, se concentraram na dinâmica de impedimentos dos fluxos de água e sedimentos e consequentemente nas características que influenciam a área de captação efetiva da bacia.

Bracken e Croke (2007) quando abordam a conectividade hidrológica, consideram a conectividade da paisagem como aquela envolvendo a distribuição e acoplamento dos elementos físicos da paisagem, atrelando-a ao comportamento geomórfico.

Ao passo que a noção de conectividade foi utilizada por geomorfólogos e hidrólogos, vem ganhando espaço seu uso nas ciências da terra (BRACKEN; CROKE, 2007). As conectividades hidrológicas e sedimentológica, desempenham atualmente papel de vanguarda nos estudos geomorfológicos. Neste contexto, tais tipologias serão abordadas de acordo com Heckmann et al. (2018, p.78):

“(...) definimos conectividade hidrológica e de sedimentos como o grau em que um sistema facilita a transferência de água e sedimentos através de si mesmo, através de relações de acoplamento entre seus componentes. Nessa visão, a conectividade torna-se uma propriedade emergente do estado do sistema, refletindo a continuidade e a força das vias de escoamento e sedimentos em um determinado ponto no tempo”(p.78).

A conectividade hidrológica é assimilada como aquela ligada à passagem de água de uma unidade da paisagem para outra (BRACKEN; CROKE, 2007), entretanto, a existência de incongruências conceituais e metodológicas pairam sobre essa concepção, proporcionando interpretações (BRACKEN; CROKE, 2007; BRACKEN et al., 2013), que por vezes variam quando se analisa a dinâmica estrutural e/ou funcional.

Com uso frequente nos estudos hidrológicos e geomorfológicos, esses abordam escalas espaciais que partem do local com áreas inferiores à um metro, para escalas em nível de bacia, a exemplo encostas e planícies de inundação, fornecendo as bases para



trabalhos que busquem integrar e abordar elementos determinantes da dinâmica hídrica (WAINWRIGHT et al., 2011).

A conectividade hidrológica pode ser subdividida em duas alas, denominadas estrutural e funcional. Onde a primeira foca as características espaciais presentes na paisagem, como a posição das unidades influencia critérios de transmissão de água. Já funcional, também reconhecida como processual, dedicar-se à análise dos padrões de transmissão, se relacionando com os processos capazes de conectar as unidades através do sistema, em especial o escoamento e a transmissão de fluxo (TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2008; BRACKEN et al., 2013).

Comum ao estudo de conectividade, é a existência de confusões conceituais, na conectividade hidrológica esse cenário se dá na definição do conceito, que tende a variar de acordo com o objeto e a interpretação do pesquisador. O que se evidencia na dicotomia da relação estrutura-processo, em que a estrutural se concentra na representatividade estática do estado do recorte, deixando de atentar às informações relacionadas a dinâmica processual da paisagem (BRACKEN; CROKE, 2007; TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2008; WAINWRIGHT et al., 2011; BRACKEN et al., 2013).

As tentativas de mensurar os tipos de conectividade hidrológica, foram por vezes rotulados de simplistas e generalistas (WALLING, 1983; BRACKEN; CROKE, 2007; WAINWRIGHT et al., 2011; BRACKEN et al., 2013). A funcional, voltada a ligação dos elementos da paisagem através de um ou mais processos, dispõe de reduzidos estudos, principalmente aqueles que buscam medi-la (WAINWRIGHT et al., 2011; BRACKEN et al., 2013). Uma falha ao se estudar a funcional, é a conscientização da especificidade de cada processo estudado, sendo inviável a generalização para outros processos e/ou disciplinas (WAINWRIGHT et al., 2011).

As relações escalares também se fazem conectividade hidrológica funcional. Algo frequente é a extrapolação de dados locais para escalas maiores, como a de bacia hidrográfica, o que sujeita a um grau de imprecisão capaz de desconfigurar/mascarar as informações presentes nos recortes. As particularidades de áreas acabam por serem desconsideradas mediante a generalização de dados (CAMMERAAAT, 2002).

Wainwright et al. (2011) estudando as características estruturais e funcionais atentaram à necessidade da mesma ser considerada no sistema e entre sistemas, a fim de quando não assimiladas, acabam por trazer interpretações equivocadas, mediante

características mal definidas. Dada a preferência já mencionada de trabalhos que se debruçaram pela perspectiva estrutural. Houve trabalhos que desenvolveram considerações conceituais e práticas para a abordagem funcional.

Como o elaborado por Bracken, Cox e Shannonn (2008) ao estudarem a relação entre eventos de precipitação e a geração de escoamento e ocorrência de inundações em ambientes semiáridos, em duas bacias hidrográficas no sudeste da Espanha, analisando dados de precipitação anuais, mensais, diárias e eventos excepcionais, coletados ao longo de 6 anos. Os autores verificaram que de modo geral, existem padrões semelhantes de precipitação, entretanto, nos efeitos dessas chuvas, a complexidade aumenta. Dada as relações de duração de intensidade dos eventos, bem como o cenário em que a bacia se encontra, seca ou húmida. Concluindo que:

Inundações também parecem serem mais relacionadas com o total de precipitação que ocorre em um período de chuva do que com a intensidade de uma tempestade, embora intensas eventos de precipitação controlem a natureza e o calendário do hidrograma inundação. A complexidade da precipita o pluviométrica aumenta com o total de tempestades, o que dificulta o desenvolvimento de resultados conclusivos sobre a importância da intensidade da chuva para a gera o de inunda es. Estas observa es sobre os padrões de chuva e gera o de inunda o agora precisam ser ligados a propriedades da superfície e da geomorfologia das áreas semi-áridas para melhorar a compreensão do transporte de sedimentos, o impacto das inunda es e desenvolvimento paisagem de longo prazo [traduzido pelo autor] (BRACKEN; COX; SHANNON, 2008, p. 695)

Na conectividade sedimentológica, as formas de análise estão comumente associadas a capacidade de transmissão em um sistema, mediante moviment o e retirada de sedimentos, sendo controlada pelo processo que movimenta o sedimento, relacionada a todo espectro da paisagem. Essa moviment o se evidencia nas encostas, entre encostas-canais e no interior dos canais (HOOKE, 2003; BRACKEN et al., 2015).

Entender a dinâmica das fontes de sedimentos, os processos, condi es, rotas e distâncias atrelados a transmissão se faz necessário para assimilar a conectividade de sedimentos na paisagem. Analisando espacial e temporalmente os fatores de armazenamento, produzindo considera es quanto ao período em que determinado sedimento ficará alojado (HOOKE, 2003).

A concep o de que os sedimentos, advindos das zonas produtoras, sairão da bacia hidrográfica chegando até área estuarinas de deposi o, merece aten o, em especial ao que se refere a escala temporal. Evidenciada/analizada nos trabalhos de Fryirs et al. (2007b) e Wainwright et al. (2011), o envolvimento de outras características de médio e

longo prazo e de recortes espaciais variados, como as encostas, terraços fluviais e planícies de inundação, barras fluviais, destacando-se as integrações laterais, verticais e longitudinais do sistema fluvial. (FRYIRS et al., 2007a; WAINWRIGHT et al., 2011; HECKMANN; SCHWANGHART, 2013; HECKMANN et al., 2018).

Essas integrações se amparam na dinâmica entre os componentes estruturais e processuais (morfologia e fluxos) que controlam o comportamento a longo prazo das características de transmissão, através de evolução/alteração das formas de relevo (TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2008; BRACKEN et al., 2013, 2015).

Não distante dos desafios presentes nos estudos da conectividade hidrológica, a sedimentológica experimenta gargalos teórico metodológicos, entre os quais se destaca a dificuldade em adequar as taxas de erosão aferida em escalas locais, com as taxas de denudação em escalas geográficas maiores, como de bacia hidrográfica (BRACKEN et al., 2015).

Bracken et al. (2015) destacam tal fator que implica nas pesquisas de conectividade sedimentológica, através da redução das taxas de erosão para predizer as alterações na paisagem, sendo difícil haja vista que:

(...) há problemas com o uso de extrapolação linear de taxas de erosão; compreensão do contínuo de fontes de sedimento, processos de transferência e possibilidades de deposição dentro das bacias hidrográficas; e a incerteza no impacto da mudança do clima e do uso da terra nos processos de transferência de sedimentos (p. 177) [traduzido pelo autor].

Os autores ainda ressaltam que mesmo com avanços no uso de noções sistêmicas utilizadas em processos de captação, o uso de sistemas complexos deve se fazer presentes, em especial no contínuo das transferências de sedimentos, instigando ao desenvolvimento de uma abordagem capaz de solucionar problemas como a relação de entrega de sedimentos e a dependência da escala dos processos erosivos. Remetendo assim a um fator que seja comum a qualquer nova abordagem, que é explicar como as medidas em escalas locais de erosão, resulta em padrões e processos geomórficos em grandes escalas (BRACKEN et al., 2015).

Cabe ressaltar a diferença entre conectividade e continuidade de sedimentos, o que segundo Hooke (2003, p. 81) a continuidade, ocorre “quando uma fração de tamanho particular está presente em todo o canal, mas as partículas são realmente trocadas, com deposição em barras e material fresco de natureza semelhante sendo erodido”. A

conectividade assim significa que uma partícula tem o potencial de ser transportada até o final de um sistema. Hooke (2003, p. 81) coloca que:

A continuidade dos sedimentos significa que deve haver um equilíbrio entre as entradas e saídas e o material que entra e sai das zonas de armazenamento. (...)Embora a continuidade signifique que existem quantidades equivalentes nos vários componentes, isso não significa necessariamente que o sedimento veio fisicamente de uma fonte ou zona particular.

Diferenças entre a conectividade potencial ou estrutural e a conectividade funcional merecem consideração. A presença de trabalhos voltados para as perspectivas estruturais se faz numericamente mais expressivo, do que aqueles voltados à conectividade funcional. Ocorrendo assim semelhança ao que se evidenciou no âmbito da conectividade hidrológica.

O uso de modelos metodológicos em trabalhos que tratam da temática da conectividade é frequente (WOHL; MAGILLIGAN; RATHBURN, 2017), não permitindo por vezes dissociações. Entretanto, autores destacam a imperativa necessidade de que tais modelos busquem compatibilizar noções estrutural e funcionais, seja no trato da conectividade hidrológica e sedimentológica (BRACKEN et al., 2013).

Borselli, Cassi e Torri (2008) desenvolveram um modelo de índice de conectividade de sedimentos, a ser executado em ambiente SIG, que constrói considerações o cenário de conectividade em potencial de uma área, inicialmente testada em uma bacia hidrográfica na região da Toscana. O modelo usa como fatores a declividade e comprimento da vertente e direção de fluxo, associadas as características de uso e cobertura do recorte. Mesmo independente, os autores buscam validar os resultados do modelo com uma ficha de avaliação de campo, observando elementos de paisagísticos e morfológicos.

Cavalli et al. (2013) usando por base no índice de conectividade proposto por Borselli, Cassi e Torri, (2008), utilizando imagens de alta resolução de modelos digitais de elevação, desenvolveu ajustes no índice inicial, aperfeiçoando as características das categorias de fator de inclinação, área de contribuição e direção de fluxo. Aplicando o modelo em duas bacias congênicas na região dos Alpes, na Itália.

#### **4.3 Conectividade Da Paisagem em Ambiente Secos**

Nas paisagens semiáridas, as características geomorfológicas destoam das encontradas em regiões mais úmidas. Os processos morfológicos são dependentes, em grande parte, dos eventos de precipitação, que por sua vez apresentam ocorrência

infrequente com magnitudes variadas. Com comportamento hidrológico episódico, o arranjo climático em regiões semiáridas proporciona aos sistemas fluviais fluxos repentinos, desenvolvendo mudanças morfológicas e transmissão de matéria e energia (BRACKEN; WAINWRIGHT, 2011; HOOKE, 2016).

A capacidade de transmissão em ambientes semiáridos está relacionada a ocorrência de pulsos a jusante, mediante *inputs* a montante, podendo ser aplicado as ligações encosta-canal e canal-canal (SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016). Hooke (2016) ao trabalhar os impactos de eventos de precipitação em canais efêmeros em região semiárida da Espanha, destaca os riscos que as características episódicas dos fluxos proporcionam, como inundações e enchentes, causando impactos substâncias às comunidades.

A autora aborda uma problemática frequente, mas que não se restringe a aquele recorte no que tange ao monitoramento, se fazendo necessário e preponderante para assimilar a dinâmica natural e a variabilidade dos sistemas fluviais. A coleta de dados e informações relacionadas aos impactos de fluxo, processos morfológicos e frequência dos eventos, tornando-se um gargalo operacional de gestão hídrica (HOOKE, 2016).

Soma-se ao trato a fisiografia da vegetação e as características de uso e cobertura de uma área. Os tipos de vegetação influenciam drasticamente a resposta da paisagem frente um pulso, a quantidade de variáveis é expressiva. Entre os fatores críticos para o relacionamento da cobertura vegetal está o porte e o estado antecedente da paisagem. O porte é associado as características dos indivíduos, como a predominância de gramíneas ou arbustos.

O arranjo espacial da biomassa tem grande impacto nas características de fluxo de água e sedimento, em especial em áreas semiáridas, considerando a capacidade de vegetação servir de resistência as forças de fluxo. Comparando áreas de solo exposto com área com presença de indivíduos vegetais, a quantidade de escoamento e sedimento carregado chega a ser de 6 a 9 vezes mais escoamento e 60 vezes a quantidade de sedimentos carregados (BARTLEY et al., 2006).

Wainwright et al. (2011) ao abordar as concepções de conectividade, trouxe ao páreo a resposta da vegetação em eventos de precipitação em região semiárida dos Estados Unidos. Monitorando parcelas povoadas predominantemente e/ou parcialmente por gramíneas e/ou arbustos, verificou que o escoamento e carregamento de sedimentos se

fizeram mais expressivos nos recortes com maior presença de espécies arbustivas. Os autores destacam a necessidade ao tratar a conectividade de que sejam agregadas maiores informações aos atores presentes na paisagem (WAINWRIGHT et al., 2011).

Wainwright et al. (2011) buscando contribuir para as bases de conhecimentos aplicados a conectividade, desenvolveram e revisaram considerações quanto a definição e mensuração dos tipos de conectividade. Trazendo assim três estudos de caso buscando avaliar a aplicações das concepções expostas. Tratando inicialmente na conectividade de águas subterrâneas e superficiais, em seguida aborda a conexão do canal fluvial em bacia hidrográfica com alterações no uso e cobertura, finalizando pela conexão dos fluxos de água e sedimentos em ambiente semiárido.

Fryirs et al. (2007a) mapearam unidades desconectantes, assimilando a gênese e a as características das intervenções, e o comportamento da desconexão de fluxo de sedimentos em uma bacia hidrográfica. A delimitação de área de contribuição efetiva, foi considerada pelos autores como ponte chave do trabalho, entendendo que ela é a área que efetivamente contribui para a transmissão de fluxo.

Bracken et al. (2013) analisando propostas conceituais e metodológicas para tratar da temática da conectividade hidrológica, avalia modelos e índices que tem na conectividade seu objeto. Os autores sustentam seu trabalho agregando a importância em diferenciar o estudo da conectividade hidrológica seja no aspecto estrutural e/ou funcional.

Bartley et al. (2006) ao estudarem as características de escoamento e erosão em paisagens semiáridas da Austrália, aplicaram formas de monitoramento *in loco* de encostas, acompanhando a resposta das parcelas frente a eventos de precipitação ao longo de três estações chuvosas. Os autores detalharam as características morfológicas das áreas, verificando detalhes quanto ao uso, presença e espacialização da vegetação.

Hooke (2003) estudando a conectividade sedimentológica do canal, utiliza a caracterização geomorfológica do curso fluvial, observando a competência do rio através da capacidade de transporte de sedimentos grosso. Criando categorias para classificar o grau de conectividade do rio, tendo por base a interpretação de informações morfológicas e granulométricas.

Partindo que o princípio dos estudos de conectividade é a movimentação no interior do sistema (FRYIRS et al., 2007a). Detalhar a dinâmica e evolução de um sistema é fundamental para qualquer abordagem que trate da conectividade presente na paisagem. As atividades antrópicas presentes nas paisagens, acabam por intervir direta ou indiretamente no funcionamento de sistemas, chegando em alguns casos a alterar de maneira substancial a capacidade de regeneração dos elementos. Sujeitando ambientes ora naturais a estágios de degradação.

Em eventos de precipitação alta magnitude, a probabilidade das áreas produção de escoamento atinjam o *status* de conectadas, tendo em vista a redução das perdas de transmissão (FRYIRS et al., 2007a; SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016), aumentando assim a capacidade do escoamento e consequentemente do transporte de sedimentos, corroborando para as características de conectividade estrutural, que tende a orientar as respostas funcionais (TURNBULL; WAINWRIGHT; BRAZIER, 2008).

Estudando a conectividade na bacia hidrográfica do Riacho do Saco, Souza; Corrêa e Brierley (2016) consideraram a importância da compreensão da transmissão de fluxos em ambientes semiáridos, colocando esse fator como característica decisiva na gestão das águas nessas áreas, em que pese as características de um clima sazonal, atividades antrópicas de uso da terra, alterações na biomassa e intervenções em canais fluviais (SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016).

A localização dos pontos de interrupção é impactada a montante e jusante, seja pela sedimentação e alterações em aquíferos aluviais ou pelo aumento da energia do canal, mediante superação da estrutura pelo fluxo, acentuando o entalhamento do leito fluvial (FRYIRS et al., 2007a; COELHO, 2008; SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016).

As formas de intervenção na capacidade conectiva de um sistema fluviais são variadas, sejam elas barragens em seus variados portes, transposições, pontes, regularização do regime fluvial e retificações fluviais.

Assimilar como os processos se apresentam em virtude de interrupções menos expressivas como as passagens molhas se faz necessário para compreender como esse tipo de estrutura influencia à dinâmica fluvial. Para tanto, é indispensável considerar trabalhos que já avaliaram passagens molhadas no semiárido brasileiro e levantar outros tipos de intervenções de pequeno porte na literatura internacional, que serão abordados à frente.

#### 4.4 Pequenas Intervenções Longitudinais

Pequenas intervenções longitudinais são um conjunto de estruturas inseridas na drenagem, que mesmo de maneira pontual, vão interferir e influenciar a dinâmica fluvial de formas variadas. Optou-se por considerar as passagens molhada como elementos de interrupção e não barramentos, para não confundir os efeitos dessas estruturas com os das barragens e açudes. Dados e estudos que envolvem passagens molhadas no semiárido brasileiro são reduzidos e em parte se restringem a normas técnicas de construção. Ainda que com tal escassez, há trabalhos que se concentram na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, no Estado do Ceará, contudo, mas que focam trechos perenizados artificialmente (BEZERRA, 2010; CAVALCANTE, 2012; CAVALCANTE; CUNHA, 2012; CAVALCANTE et al., 2014). Ainda que esses autores não trabalhando diretamente na perspectiva da conectividade de sedimentos, focam nos efeitos morfodinâmico e hidrodinâmicos que esses impedimentos proporcionam ao sistema fluvial. O que corrobora com o desenvolvido deste trabalho, visto que mesmo em canal perenizado, possuem detalhes quanto ao comportamento destes elementos à eventos de magnitudes variadas.

Bezerra (2010), sendo pioneiro ao analisar a passagem molhada associada a barragem, destacou os efeitos que a estrutura proporcionou à dinâmica sedimentológica do canal, influenciando a competência do sistema fluvial em transportar sedimento mais grosseiros, como cascalhos e areias. Segundo o autor, a presença de sedimentos mais grosseiros é predominante nas áreas a montante e os sedimentos finos, em especial argila e silte, ganhando maiores proporções próximos à estrutura de passagem molhada/barragem.

O autor traz à baila a definição, que será em parte adotada no presente trabalho, onde:

(...)as passagens molhadas são estruturas de concreto, construídas transversalmente a pequenos rios ou riachos, sendo que algumas permitem o escoamento da água por cima durante todo o ano, formando uma pequena lâmina d'água, e outras apenas em períodos de cheias dos rios (BEZERRA, 2010, p. 36).

Cavalcante (2012) ao trabalhar a morfodinâmica e hidrodinâmica no Rio Jaguaribe, dedica considerações a respeito das passagens molhadas. Dentre estas, detalha as características de algumas estruturas analisadas frente a eventos de baixa vazão e vazões excepcionais, ocorrendo forte sedimentação de leito e intensificação de processo



erosivos. Em seus levantamentos, aborda que a construção de passagens molhadas no Estado do Ceará remonta desde a década de 60.

A autora ainda aponta que dentro das características hidrológicas, as passagens molhadas não sejam tão expressivas, quando comparadas com grandes e médias barragens, mas essas estruturas vão desempenhar interferências no fluxo hidrológico e sedimentológico do curso fluvial. As formas das passagens molhadas também são objeto de análise, visto que a algumas vão permitir a passagem de fluxo através de tubulações, enquanto que outras possuem estruturas maciças, funcionando como pequenas barragens, sendo comum serem submersas em razão do aumento no nível da lâmina d'água (CAVALCANTE, 2012).

Cavalcante et al. (2014) ao abordarem a presença de passagens molhada ao longo do médio-baixo curso do Rio Jaguaribe, contabilizando um total de 34 estruturas, considerando que a espacialização em cadeia destas estruturas se constitui uma das principais variáveis que influenciam a dinâmica fluvial, havendo assim comportamento de sedimentação e erosão a montante das estruturas. As características das passagens molhadas também é objeto de análise pelos autores, visto que o material constituinte e o formato vão incidir de modo variado na dinâmica a montante e a jusante dos elementos de interrupção, como a presença de manilhas ou estrutura maciça

Sendo assim, considerando as contribuições de Bezerra (2010), as passagens molhadas entre suas características estruturais mais comuns, podem ser compreendidas entre duas categorias, as não vazadas e vazadas (Figura 7). A primeira consiste em estruturas maciças, onde o fluxo do canal só alcança porções a jusante vertendo-a. A vazadas envolvem estruturas em formatos variados, sendo as mais populares aquelas preenchidas apenas por manilhas (Figura 7).

**Figura 7: Tipos mais comuns de passagens molhadas. A – Passagem molhada não vazada, de argamassa e blocos de rocha, do tipo vertedouro. B – Passagem molhada vazada, composta por manilhas ao longo de sua estrutura.**



Fonte: Acervo do autor, 2017).

Mesmo pouco explorada na literatura nacional, as intervenções longitudinais de pequeno porte em cursos fluviais são objeto de amplo debate no âmbito internacional. Os tipos, as formas e finalidades dessas estruturas são variados.

Construídas seja para controle de fluxos de sedimentos e enchentes como as *Check Dams* (barragens de controle) (CASTILLO et al., 2007) e *Weirs* (CLEMMENS et al., 2001) amplamente utilizadas em ambientes úmidos e semiáridos, com forte aplicação na Espanha, Itália, Rússia, Suíça, Israel. Estados Unidos, Japão, e bacias mediterrâneas. Havendo também uso como forma de captação e armazenamento de água em ambientes áridos e semiáridos, tendo como exemplo as *Sand Dams* (barragens de areia) objeto de políticas públicas de redução da pobreza e acesso a recursos básicos no Quênia (NEAL, 2012).

Outras estruturas são associadas à infraestrutura de tráfego veículos, pessoas e mercadorias entre áreas, onde se destacam as *floodway* (vias inundáveis) e as estruturas enquadradas como *low-water crossing* (travessias de águas baixas) tendo entre seus maiores representantes os *Ford*, *Culverts* e *Drifts*, aplicadas em países como Estados Unidos, Reino Unido, França, Espanha, Austrália, Nova Zelândia. Há ainda outros tipos de intervenções que além de permitir o tráfego, trazem entre seus objetivos, viabilizar a passagem de animais aquáticos em ambientes úmidos e rotas migratórias, representadas pelas *Fish Passage* e *Fish Lader*, mas que não serão analisadas, por não serem comuns em ambientes semiáridos, podendo estarem associadas a outras formas de intervenção.

As *Check Dams* ou barragens de controle, são estruturas permeáveis com foco no controle de enchentes e fluxo de sedimentos, amplamente aplicadas em bacias

hidrográficas semiáridas e úmidas. Podendo serem instaladas em canais de cabeceira de drenagem ou ao longo de todo um curso fluvial, também podendo ser aplicadas em ravinas e riachos efêmeros. Com alta capacidade de retenção de sedimentos, controles de fluxo de detritos e estabilização de terrenos (CASTILLO et al., 2007; REMAÎTRE et al., 2008; KANG; KAZAMA, 2012; BUSSI et al., 2013).

Diferente das barragens de controle, as *Weir(s)* ou reservatórios rústicos, são estruturas transversais em cursos fluviais, que tem por objetivo principal o controle de fluxo, com potencial de instalação variando de pequenos riachos à grandes sistemas fluviais. Esses elementos represam água, mas permitem a fácil passagem de fluxo a partir de determinada cota da lâmina d'água. Destaca-se que a retenção de sedimentos corre de forma secundária aos efeitos da implantação dessas estruturas (BOSCH et al., 1993; BRIERLEY; HOOKE, 2015a).

Dentro da categoria das pequenas estruturas transversais de tráfego, que incidem nos cursos fluviais, algumas são conhecidas como *Low-Water Crossing* (travessia de águas baixas), tendo entre seus principais tipos de estruturas as *Fords*, *Culverts* (tubulações) e *Drifts*, outra tipologia de intervenção de tráfego são as *floodways* (vias inundáveis) (MRWA; BG&E, 2006). Todas guardando semelhanças estéticas e estruturais com às passagens molhadas do semiárido nordestino. Esses elementos se destacam por serem estruturas de menor custo, quando comparados as pontes, são construídas geralmente em canais de baixa vazão ou que ficam a maior parte do tempo secos, permitindo o tráfego de veículos e pessoas. Quando ocorre vazão no canal, dependendo do tipo o fluxo pode passar através da estrutura e em eventos extremos, o nível do fluxo pode superar a estrutura (AUSTRALIA, 2017).

Existe certa confusão no uso dos termos que envolvem essas estruturas. As *culverts* (tubulações) tanto podem compor uma outra, como podem ser definidas como estruturas em si. A diferença entre as *fords/dirfts* e as *floodways* está no formato desses elementos. As *fords* geralmente são estruturas diretamente instalada no leito canal fluvial, substituindo-o, sendo que o fluxo passa constantemente sobre ela, independentemente da vazão. As *fords* também podem ser elevadas, podendo conter tubulações (*culverts*) permitindo a passagem de fluxo de baixa vazão, ficando submersas apenas em altas vazões. As *floodways* se constituem por estradas em áreas rebaixadas que acompanham o terreno do canal, ficando submersas em qualquer vazão, apresentando elevação sobre o leito fluvial, sendo a tipologia mais próxima das passagens molhadas. Também são

utilizadas como área de alívio de inundações (MRWA; BG&E, 2006; LOKUGE; SETUNGE; KARUNASENA, 2014).

Levantadas as tipologias de pequenas intervenções longitudinais fluviais semiáridas, no âmbito internacional, suas aplicações e os efeitos de suas construções (Tabela 3), percebe-se uma discrepância entre a quantidade de trabalhos que abordam os mais variados tipos de intervenções e os executados no semiárido nordestino.

**Tabela 3: Pequenas intervenções fluviais mais comuns na literatura internacional, divididas em duas tipologias, barragens e infra-estrutura de tráfego.**

Tipo	Intervenção	Objetivos	Características estruturais	Efeitos Diretos	Observações	Referências
Barramento (micro barragens)	<i>Check Dams</i> (barragem de controle)	Controle de fluxos de detritos e sedimentação; controle da inclinação do canal.	Estrutura transversal permeável ou vazada; construída com concreto, blocos e terra;	Retenção de blocos e/ou sedimentos a montante; alteração de nível de base; incisão do canal a jusante;	Aplicada em ambientes úmidos, semiáridos e áridos; podem ser aplicadas em série ou isoladas.	(CASTILLO et al., 2007; REMAÎTRE et al., 2008; CONESA-GARCÍA; GARCÍA-LORENZO, 2009; KANG; KAZAMA, 2012; BUSSI et al., 2013; RENGANAYAKI; ELANGO, 2013; VAEZI et al., 2017; MARCHI et al., 2019)
	<i>Weir</i> (açude rústico)	Alteração do regime fluvial.	Estrutura transversal criando lago a montante, permitindo a água passar através de vertedouro(s); geralmente constituída de concreto, blocos de rocha com argamassa.	Altera as características de vazão do curso fluvial; criação de lago a montante; redução da velocidade do fluxo; alteração do nível de base;	Comum em cursos perenes, com capacidade de retenção de água até a lâmina d'água verta a estrutura, contudo, a maioria das barragens no semiárido brasileiro seguem esse princípio de funcionamento.	(BOSCH et al., 1993; CLEMMENS et al., 2001; BRIERLEY; HOOKE, 2015a)
	<i>Sand Dams</i> (barragem de areia)	Oferta de água.	Estrutura transversal; geralmente de concreto ou blocos de rocha; associado a poço; permite a passagem de fluxo através de vertedouro;	Retenção de sedimentos de carga de fundo; alteração de nível de base a montante; aumenta capacidade do aquífero aluvial;	Estrutura de baixo curso; pode ser construída em conjunto com travessias de cursos fluviais; semelhante às <i>check dams</i> .	(NEAL, 2012)
	<i>Floodway</i> (via inundável)	Convivência com enchentes.	Estradas com pavimentação resistente a enchentes; próximas ou cruzam cursos fluviais intermitentes ou efêmeros;	Permite a passagem do fluxo em vazões mínimas e absorve enchentes; altera o nível e base a montante;	Aplicados em ambientes áridos e semiáridos; alternativa de baixo custo, frente pontes ou elevação de terreno; pode se associar a outros tipos de estruturas de intervenção <i>Culverts</i> ou <i>Fords</i> .	(MRWA; BG&E, 2006; LOKUGE; SETUNGE; KARUNASENA, 2014)
Infra-estrutura de tráfego.	<i>Culverts</i> (bueiros). <i>Drift</i> . <i>Fords</i> (vala)	Convivência com canais fluviais	Tipologias diversas, mas guardam semelhanças; podem ser constituídas de areia, seixos, blocos de rocha, concreto; permitem estarem associadas a manilhas ou vãos em suas estruturas; podem ser rebaixados ou com estrutura sobre o curso fluvial.	Retenção de sedimentos a montante; alteração de nível de base a montante; entalhe do canal a jusante; interferem na dinâmica ecológica;	Se enquadram como <i>low-water crossing</i> ; os termos e as formas se confundem; ficam submersas em altas vazões; permitem passagem facilitada em vazões mínimas; aplicados em ambientes úmidos, áridos e semiáridos.	(BLANTON; MARCUS, 2009; WILCOX, 2010; BARNARD et al., 2013; AUSTRALIA, 2017)

## **5 Materiais e Métodos**

O desenvolvimento dos procedimentos metodológicos se deu em três secções de trabalho elaboradas com a finalidade de permitir analisar e assimilar a dinâmica de transmissão hidrológica e sedimentológica na bacia do baixo curso do Rio Piancó. As secções foram organizadas em etapas sistematizada. A primeira, relacionada aos levantamentos e mapeamentos relacionados a transmissão de água e sedimentos; a segunda, voltada aos procedimentos em trabalhos de campo e laboratório e; a terceira, com o objetivo analisar a área de captação efetiva e a dinâmica da conectividade hidrológica e sedimentológica.

### **5.1 Levantamentos e Mapeamentos**

A identificação dos pontos de desconexão se deu através do uso das imagens de satélite, fazendo-se necessário para o início das atividades, por possibilitar a obtenção de informações prévias relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Para tanto, foram utilizadas imagens Rapid Eye do Google Earth, do Landsat 7 e 8, pela facilidade no manuseio e periodicidade de atualização. Esse recurso também apoiou o levantamento de rotas para o acesso às áreas de interesse, as atividades de mapeamento e a espacialização dos elementos de interrupção no interior da bacia hidrográfica.

Dito isso, os elementos de desconexão, em que se destacam as barragens, de engenharia ou domésticas, passagens molhadas, pontes, estradas e demais estruturas que venham a intervir diretamente em canais fluviais foram identificados e espacializados no interior da bacia hidrográfica.

Cabe diferenciar a barragens, sendo essas de engenharia e domésticas. A primeira é de grande porte, com incrementos estruturais como concreto, rochas e outros procedimentos técnicos. Já as domésticas, apresentam fisionomia rústica, sendo geralmente barragens de terra, ou concreto, com áreas de captação reduzidas e porte menor.

A escolha dos pontos de interrupção foi feita ao passo que a espacialização dos pontos apresentava aqueles de maior interesse, onde seria considerado a posição na bacia

hidrográfica, área de captação, efeitos a montante e a jusante verificados na atividade de campo e características locais.

Corroborando com a caracterização do recorte espacial bem com a identificação dos pontos de interrupção, foi feito o uso de dados altimétricos, através de imagens de imagens do Satélite ALOS, através do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), possuindo resolução espacial de 12,5 metros e imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) do TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com resolução espacial de 30 metros. Com essas imagens foram confeccionados: Modelo Digital de Terreno, mapa de classe de declividade, delimitação de cotas topográficas através de curvas de nível, delimitação da drenagem. Permitindo a observação aprimorada das dinâmicas morfológicas da área de estudo.

## **5.2 Trabalhos de campo e coleta de materiais**

Os trabalhos de campo permitem alcançar localidades previamente mapeadas para que sejam avaliadas *in loco* as peculiaridades dos elementos, eliminando assim discordâncias e subjetivismos. Tais atividades servem para amparar a classificação dos elementos desconectantes, por validarem informações geradas em gabinetes, corroboradas com registros fotográficos.

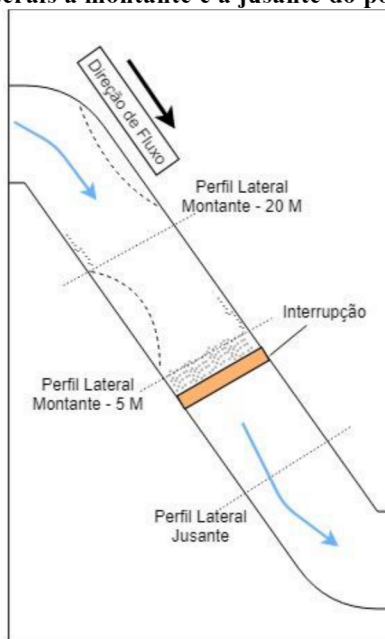
No decorrer da construção do presente trabalho, foram realizadas três atividades de campo e coleta de materiais, com duração média de cinco dias cada. A primeira de caráter exploratório, objetivando o reconhecimento dos pontos de interferência, auxiliando na validação das informações previamente levantadas; a segunda voltada à coleta de matérias e caracterização dos elementos de interrupção, e; A terceira voltada ao monitoramento dos pontos selecionados durante o período chuvoso. Destaca-se que os elementos de interferência de fluxo avaliados são os longitudinais (FRYIRS et al., 2007b, 2007a).

Foram então selecionados quatro pontos de interrupção do fluxo, estes, foram escolhidos por serem passagens molhadas presentes nos afluentes do canal principal no baixo curso do Rio Piancó. Não foram selecionados pontos no canal principal haja vista as diferenças de regime fluvial, sendo predominante o regime intermitente nos afluentes e o fluxo perenizado no curso principal. Outrossim, foi a quantidade reduzida de elementos desconectantes presentes no canal principal e o acesso até essas localidades.

Os procedimentos executados em cada ponto e em seus respectivos perfis seguirem a seguinte ordem: identificação dos perfis, coleta de amostras para granulometria, aerolevanteamento com VANT, registro fotográfico. Em eventuais empecilhos, onde a vegetação das matas ciliares não possibilita o aerolevanteamento, foi utilizada a estação total Ruide 820R3, do Laboratório de Estudos em Gestão de Águas e Território (LEGAT) da UFPB, visando alcançar os perfis laterais próximo aos locais de coleta. Não obstante, todos os pontos de coleta foram georreferenciados através do uso do GPS Garmin Etrex30. O levantamento dos perfis laterais auxilia na análise dos trechos identificados, permitindo assimilar a morfologia do canal e processos atuantes em cada localidade.

Para a análise das condições de interferência dos elementos de desconexão, a análise granulométrica se apresenta como promissora, permitindo avaliar a distribuição dos sedimentos a montante a jusante da estrutura. Para tal foram coletas amostras representativas de aproximadamente 1000g, variando até 2000g considerando as condições da amostra. A distribuição da coleta se deu através das secções do canal, sendo coletado material das margens e de leito. O sentido das coletas se deu de jusante para montante. Por ponto, foram realizados três perfis, um a jusante, 5 metros após o elemento de interrupção, e dois a montante a 5 metros e 20 metros respectivamente (Figura 8).

**Figura 8: Perfis laterais a montante e a jusante do ponto de interrupção.**



Elaborado pelo autor.



Considerando quantidade prevista de amostras, se fez necessária a construção de um sistema de nomenclaturas e codificação das amostras. Essa identificação se deu através de códigos de trabalho, relacionados diretamente ao ponto pré-definido (ex.: AP1, AP2, AP3, ...) perfil lateral de coleta (ex.: PF1, PF2, PF3, ...) e unidade do canal.(ex.: MD – Margem Direita, ME – Margem Esquerda, e L – Leito). De acordo com as características do canal, não foi possível realizar coletas em margens com predominância de afloramentos rochosos, em igual cenário, leitos que apresentassem essa característica.

### **5.2.1 Granulometria**

Sendo um parâmetro fundamental para analisar o tamanho e as partículas de sedimentos detríticos e suas propriedades físicas, a análise granulométrica se apresenta como ferramenta de excelência. Seu uso se dá na investigação da distribuição dos sedimentos no canal, onde o tamanho das partículas detalhar a dinâmica que um determinado ponto de interrupção de fluxo exerce sobre a capacidade de transmissão do canal em um determinado ponto.

Suguio, (2003) discorre que a análise granulométrica possui importância, está na competência de fornecer lastro para o detalhamento mais preciso de depósitos. Permitindo identificar na paisagem, a origem da área-fonte dos variados depósitos, permitindo caracterizar qualitativamente e quantitativamente os sedimentos que os compõem (ALMEIDA, 2017).

Partindo da quantificação das frações presentes nas amostras, em que os resultados foram inseridos em planilha eletrônica, sendo espelhados em gráficos e diagramas. Assim, a análise granulométrica foi realizada tendo como base, a metodologia de peneiramento e tratamento das amostras de Gale e Hoare (1991), utilizando a escala de Wentworth no processo de classificação dos tamanhos das partículas.

A execução dos procedimentos inerentes ao tratamento, peneiramento e pesagem das amostras foram realizadas no Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), pertencente ao Departamento de Geociências, localizado no Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Os sedimentos mais grosseiros, com frações superiores acima de 63µm foram destinados aos procedimentos de peneiramento. As frações abaixo dessa marca, foram

analisadas através de método distinto detalhando nos itens subsequentes do trabalho. Toda a preparação teve como amparo o uso parcial da metodologia do Laboratório de Geografia Física da UCL (*University College London*), onde ratificam o uso do peneiramento para as frações de areias e cascalho.

O tratamento estatístico do resultado do processamento das amostras, foi efetuado utilizando as informações de peso (g) das frações granulométricas, em cada amostra, em consonância com o previsto por Folk e Ward (1957) e posteriormente foram classificados através do *software* Sysgran 3.0. Gerando informações relacionadas ao grau de seleção dos sedimentos, plotados através dos diagramas de Shepard, (1954) e Pejrup, (1988). O uso destes diagramas triangulares permite avaliar os fatores hidrodinâmicos dos pontos onde as amostras foram coletadas (PEJRUP, 1988; CAMARGO, 2006).

Com auxílio do Sysgran, é possível realizar a completa caracterização das amostras com o uso combinados métodos estatísticos associados à gráficos, sendo umas das principais capacidades do *software* (CAMARGO, 2006).

#### 5.2.1.1 *Granulometria de sedimentos grosseiros (areias e cascalho)*

Ao quantificar as frações de areia e cascalho das amostras, fez-se uso das técnicas de peneiramento seco. Para tal, foram descartadas as frações de silte e argila. A realização do procedimento se deu através do uso do método de elaborado por Gale e Hoare (1991). Sendo necessários os seguintes materiais:

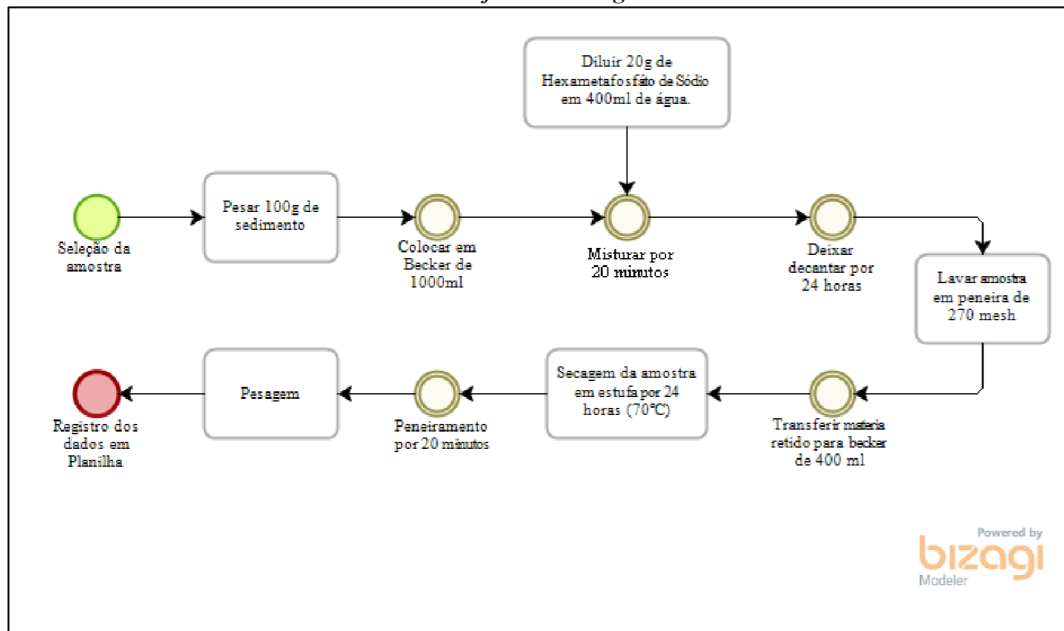
- Becker 1000ml;
- Becker de 250ml;
- Baqueta;
- Grupo de peneiras (9, 16, 32, 60, 115 e 270 mesh);
- Estufa;
- Dispersante (Hexametáfosfato de sódio);
- Sacos plásticos transparentes;
- Agitador mecânico;

A execução dos procedimentos foi balizada considerando a preparação, lavagem, peneiramento e pesagem das amostras secas. A etapa que antecede esse procedimento requer atenção no mento de avaliação de cada amostra, se constatado que amostras ainda estavam úmidas, eram colocadas em estufa por 24 horas a uma temperatura de 70°C.

Inicialmente, foram selecionados 100g, colocados em becker de 1000 ml, em seguida foram adicionados 400ml de água com 20g de reagente hexametáfosfato de sódio diluído, e agitados por 20 minutos com a finalidade de desflocular os sedimentos. Subsequente, as amostras foram colocadas para decantar por 24 horas. Passado esse período as amostras eram lavadas e peneiras em peneira de 270 mesh (63 $\mu$ m), objetivando a separação do silte e da argila, sendo descartados os sedimentos que passassem, e recolhidas as frações retidas (Figura 9).

Por seguinte, as amostras úmidas eram colocadas em estufa por 24 horas em temperatura de 70°C. Quando secas, as amostras eram peneiradas através de jogo de peneiras em um agitador mecânico, sendo pesadas das frações retiradas em cada diâmetro.

**Figura 9: Roteiro de procedimentos para separação das frações areias e cascalho. Elaborados através do software Bizagi Modeler.**



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Gale & Hoare (1991); Barros (2014); Lima (2015).

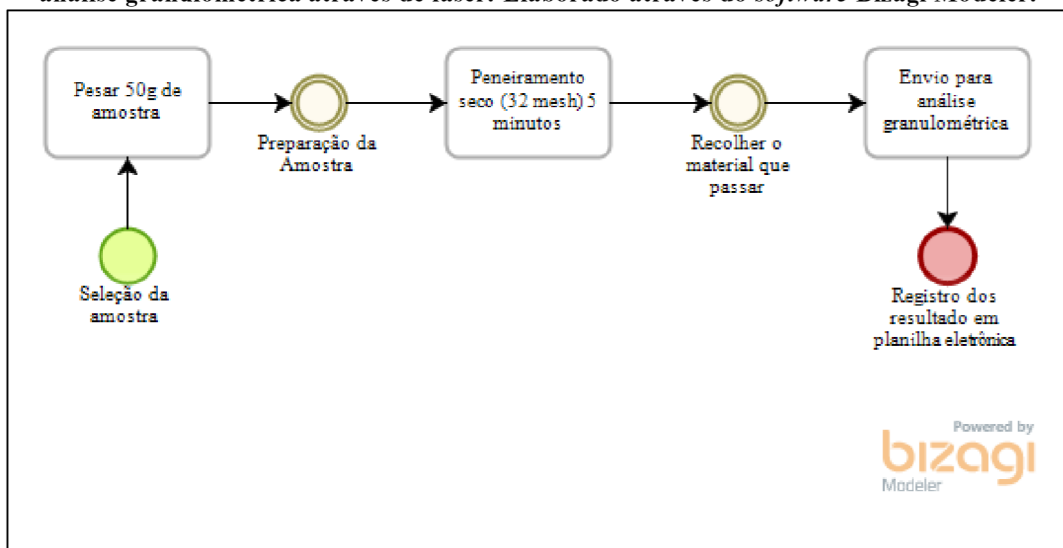
Assim foi possível separar as frações de areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa, areia muito grossa e cascalho.

#### 5.2.1.2 Granulometria de sedimentos finos (silte e argila)

No que tange ao processo de separação das frações finais, especificamente silte e argila, essas foram analisadas através de granulometria à laser com granulômetro CILAS 2000, pertencente ao Laboratório de Não-Metálicos do Departamento de Engenharia de Materiais, do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Para tanto, o preparo e envio das amostras se deu inicialmente com o preparo, separando

50g de matéria e peneirando a seco, em peneira de 32 mesh, sendo descartado o material retido e recolhidas as frações que passaram. Não diferente do que ocorreu na separação das frações de areia e cascalho, o preparo da amostra observou seu estado, se úmida era colocada em estufa por 24 horas em temperatura de 70°C, para que assim ela pudesse ser pesada e peneirada (Figura 10).

**Figura 10: Roteiro de procedimentos para separação das frações silte e argila, para envio e análise granulométrica através de laser. Elaborado através do *software Bizagi Modeler*.**



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Gale & Hoare (1991); Barros (2014); Lima (2015).

### 5.2.2 Utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT

A utilização de VANTs vem crescendo expressivamente nos trabalhos que visam pequenas áreas. Neste trabalho, foi feito o uso do equipamento produzido pela empresa *Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd.* - DJI, de origem chinesa, de modelo Phantom 4 (Figura 11), pertencente à Universidade de Pernambuco - UPE. Esse aparelho apresenta peso aproximado de 1,5 kg, enquadrado na categoria de multirrotor leve, possui uma câmera com resolução de 12 megapixels, associada a um mecanismo de estabilização inercial *gimbal*, que reduz o ruído e auxilia no registro das imagens.

**Figura 11: VANT modelo Phantom4 e controle de voo aguardando a execução de aerolevanteamento.**



Fonte: Acervo do autor, 2019.

O aparelho ao sobrevoar a área indicada, previamente planejada através do *software* Drone Deploy, realizou o imageamento aerofotográfico à uma altitude programada de 60m a partir do nível do solo, com resolução espacial adotada de aproximadamente 2,6 cm por pixel.

Seus produtos posteriormente foram tratados em ambiente de gabinete, associando-os a banco de dados georreferenciados em Projeção UTM (*Universal Transversal Mecator*), Zona 24S, do Sistema de Referência SIRGAS 2000. Tendo o processamento das imagens, foram executados no *software* Agisoft Photoscan, sendo gerados os seguintes resultados:

- Nuvens de pontos regulares e densas;
- Ortomosaico georreferenciado;
- Modelo Digital de Terreno (MDT).

Os voos foram realizados entre os dias 28 e 29 de outubro de 2019, sendo dias ensolarados com pouca ou nenhuma presença de nuvens. Entretanto a presença de aves dificultou a execução dos voos, tendo alguns sido abortados e reiniciados quando a quantidade de animais estava reduzida.

Com o uso do *Software ArcGIS* 10.3, foi possível delimitar as unidades do canal tendo como base as imagens capturadas e o modelo digital de terreno. Corroborando também com a delimitação dos perfis laterais e longitudinal (gradiente) do canal, em cada trecho trabalhado.

### **5.3 Análise da conectividade**

Consiste em analisar de maneira integrada a dinâmica dos sedimentos com a presença dos elementos antrópicos que de alguma forma podem interferir na capacidade de transmissão do sistema fluvial.

Entre as interrupções foram identificadas barragens e passagens molhadas. Sendo assim, optou-se por trabalhar com as passagens molhadas, visto que são elementos de interrupção que trazem dinâmicas distintas ao sistema fluvial, se diferenciando das já expressivamente avaliadas barragens.

Contudo, a interferência dessas últimas não foi negligência, tampouco a distribuição no interior da bacia hidrográfica. Entre seus efeitos, a presença de barragens acaba por sujeitar a interrupção total da transmissão de sedimentos grosseiros, em especial os de carga de fundo (FRYIRS et al., 2007a; COELHO, 2008). Uma eventual retomada da capacidade de transmissão somente se daria com a desmobilização da estrutura da barragem, seja através de ação de planejamento ou ruptura da estrutural devido a eventos extremos (CORRÊA, 2012).

A análise da área distribuição se inicia partindo da identificação dos elementos realizada na fase de levantamento, mediante procedimentos de sensoriamento remoto, detalhando vias de acesso e conseqüentemente com a localização das passagens molhadas presentes na bacia. Nas atividades de campo, esses impedimentos foram caracterizados e classificados de acordo com suas características. Entre essas características principais avaliadas, temos a estrutura do impedimento e suas feições (FRYIRS et al., 2007a), a presença de manilhas e fundação (CAVALCANTE, 2012; CAVALCANTE et al., 2014). As passagens molhadas identificadas e selecionadas, foram avaliadas localmente, sendo verificado o comportamento canal a montante e jusante dos elementos de desconexão, observando a existência de aggradação de sedimentos a montante e entalhamento do canal a jusante.

Se associando as características granulométricas verificadas através das amostras. Nesta fase os impedimentos são avaliados individualmente, com o objetivo de

compreender como a dinâmica de sedimentos é alterada. Tendo como principal indicador a distribuição de sedimentos grosseiros a montante a jusante do impedimento.

Identificados os elementos, por seguinte, se faz a delimitação da área de captação efetiva de cada passagem molhada, para tal, foi necessário subdividir a bacia hidrográfica em sub-bacias, a partir dos elementos de interrupção, especializando sua distribuição e mensurando suas áreas de contribuição, (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a, 2007b; SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016).

A delimitação da área de captação efetiva foi realizada de modo a considerar quais áreas/localidades contribuem efetivamente para a capacidade de transmissão de água e sedimentos do sistema fluvial em questão (SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016), em que pese a conexão sedimentológica. A delimitação dessas áreas foi realizada em ambiente SIG, através do *software* ArcGis (ArcMap) versão 10.3, mediante o uso da extensão ArcHydro Tools 2.0, desenvolvido pelo Centro de Investigação em Recursos Hídricos da Universidade do Texas.

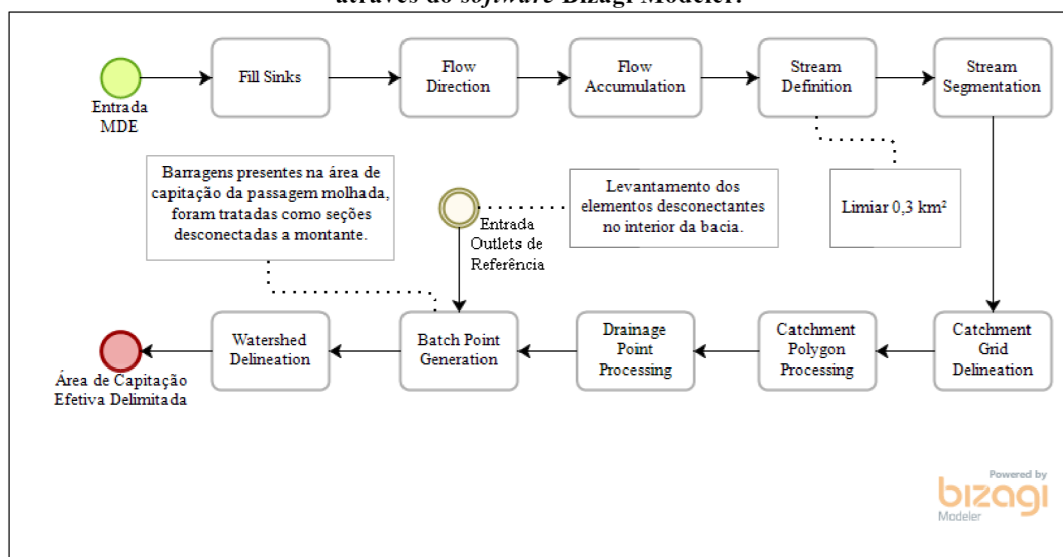
O procedimento de delimitação (Figura 12) foi executado tendo por base o fluxo realizado por Duarte (2015) que fez uso da extensão, havendo ajustes no parâmetro da ferramenta *Stream Definition*, a rede de drenagem varia de acordo com os limiares de área de drenagem, com isso foram executados testes para avaliar qual o parâmetro satisfaz as necessidades do presente trabalho.

Entre esses testes de limiares, foi feito o uso de quatro valores ( $2\text{km}^2$ ,  $1\text{km}^2$ ,  $0,5\text{km}^2$  e  $0,3\text{km}^2$ ), tendo sido escolhido o limiar de  $0,3\text{km}^2$ , permitindo à drenagem alcançar a distribuição espacial dos elementos de desconexão no interior da bacia.

Outro ajuste necessário, na ferramenta de *Batch Point Generation*, após localizar cada passagem molhada selecionada, a área de captação dessas foi avaliada para localizar elementos de desconexão. Quando localizados, suas áreas a montante foram tratadas como desconectadas do restante da bacia. Seguindo tal procedimento de acomodação, foi possível localizar e delimitar de maneira prática a área de captação efetiva de cada passagem molhada. Havendo em última instância a verificação da área de captação em ambiente SIG, com a finalidade de eliminar eventuais inconsistências.



**Figura 12: Fluxo de procedimentos executados na extensão ArcHydro Tools 2.0. Elaborado através do software Bizagi Modeler.**



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Fryirs et al., (2007b) e Duarte, (2015).

Corroborando com a análise integrada, buscou-se identificar a temporalidade dos eventos de precipitação e suas magnitudes no interior do sistema, ou seja, compreender como esses eventos proporcionam cenários de conectividade e desconectividade, entre as áreas de captação efetiva das passagens molhadas. Os eventos de precipitação tiveram seus padrões identificados baseados na magnitude e frequência (FRYIRS et al., 2007b, 2007a; SOUZA; CORREA, 2012). A preferência por estações pluviométricas, se deu em virtude da ausência de estações fluviométricas ao longo da bacia, que tem a maioria dos canais de regime intermitente e efêmero.

Os eventos pluviométricos foram classificados em eventos de magnitude baixa, magnitude moderada e magnitude alta (SOUZA; CORREA; BRIERLEY, 2016). A compreensão da energia tem relação direta com a capacidade de transmissão do sistema e sua força para ultrapassar elementos desconectantes/ de interrupção, sendo influenciada pela competência de fluxo do canal e/ou pelo escoamento das encostas (FRYIRS et al., 2007b, 2007a).

A análise das séries climáticas diárias dos eventos de precipitação tem por finalidade compreender a dinâmica que a bacia hidrográfica experimenta (FRYIRS et al., 2007a) e consequentemente assimilar o comportamento das passagens molhadas analisadas. Os dados obtidos dos postos pluviométricos foram tratados e organizados a fim de eliminar inconsistências. Optou-se por considerar efetivos, apenas eventos de



precipitação superiores a 1,00 mm (AVIAD; KUTIEL; LAVEE, 2009; SOUZA; ALMEIDA; CORREA, 2015).

Os parâmetros para tratamento estatístico descritivo dos dados diários e identificação das magnitudes dos eventos de precipitação foi adaptado de (SOUZA, 2014; SOUZA; ALMEIDA; CORREA, 2015). Através do *software* Excel 365, do pacote *Microsoft Office*, a classificação dos eventos se deu através do seguinte *script*: identificação dos eventos máximos anuais; retirada média e desvio padrão dos eventos máximos anuais; localização dos eventos de magnitude alta; localização dos eventos na faixa de magnitude moderada; identificação dos eventos de magnitude baixa.

A classificação das magnitudes foi realizada considerando os eventos de magnitude alta como sendo aqueles acima da média dos eventos diários máximos anuais mais o desvio padrão destes eventos; aqueles enquadrados como magnitude moderada, são constituídos tendo como valor máximo o limite mínimo dos eventos de magnitude alta e mínimo a média dos eventos máximos anuais menos o desvio padrão dos eventos máximos anuais; já os eventos de magnitude baixa, se localizam entre o limite mínimo dos eventos de magnitude moderada e o valor fixo de 1,00mm (Tabela 4).

**Tabela 4: Tabela com os critérios de classificação das magnitudes dos eventos de precipitação. Média – M; Desvio Padrão – DP.**

<b>Magnitude alta</b>	$\geq M + DP$
<b>Magnitude moderada</b>	$< M + DP$ $\geq M - DP$
<b>Magnitude baixa</b>	$< M - DP$ $> 1,00\text{mm}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Feito uso deste conjunto de procedimentos, os eventos de magnitude alta serão aqueles anômalos, capazes de gerar fluxos expressivos no canal fluvial causando maior movimentação de sedimentos no interior da área de captação efetiva. Os eventos de magnitude moderada seriam os eventos máximos anuais, mas não anômalos, capazes provocar movimentação de sedimentos, com o canal fluvial alcançando o nível de margens plenas (*bankfull*) (SOUZA, 2014).

O objetivo principal em utilizar este método é alcançar a frequência dos eventos anualmente, em cada um dos postos pluviométricos analisados, tendo como foco principal a periodicidade os eventos de magnitude alta, considerando a capacidade de transformação da paisagem (SOUZA, 2014).

Os dados de precipitação foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, e são oriundos de seis estações pluviométricas localizadas nos municípios de Pombal, São Bentinho, São Domingos, São José da Lagoa Tapada, Cajazeirinhas e Coremas. A administração e operação desses aparelhos é variada, com atuação de diversas instituições como a Agência Nacional de Águas – ANA, a AESA, Serviço Geológico Brasileiro – CPRM, e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS.

Entretanto, os postos pluviométricos escolhidos foram os dos municípios de Pombal, Coremas e São José da Lagoa Tapada, por apresentarem maior série histórica, entre os anos de 1994-2019, favorecendo uma análise mais abrangente da ocorrência e magnitude dos eventos.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Visando compatibilizar e primar pela ergonomia, os resultados do presente trabalho foram seccionados em duas seções, com a finalidade de alcançar os objetivos específicos e fornecer uma discussão objetiva e integrada.

A primeira abordada a espacialização dos elementos de interrupção no interior da bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó, seguido pela apresentação das passagens molhadas selecionadas suas áreas de captação efetiva. Em seguida são analisadas das características morfológicas do canal a montante e jusante a partir de cada passagem molhada, avaliando também as variações granulométricas das amostras coletadas nos perfis laterais.

A segunda seção tem por objetivo integrar as informações prestadas na primeira, alcançando a discussão sobre como as passagens molhadas vão se relacionar com a conectividade de sedimentos em uma bacia semiárida. Soma-se ao debate, a semelhança das passagens molhadas com estruturas semelhantes ao longo do globo, que são objeto de estudos morfológicos.

Assim, foram realizadas três campanhas, a primeira no mês de dezembro de 2018, em caráter exploratório; A segunda em outubro de 2019, executando coletas de amostras, levantamento aerofotogramétrico e caracterizando os pontos selecionados, e; a terceira a fim de monitorar os pontos selecionados durante o período chuvoso, realizada em fevereiro de 2020. Dessa forma, foi possível compreender a dinâmica e as especificidades associadas aos pontos, realizar ações de levantamento e coletas amostrais e monitorar as localidades selecionadas.

### **6.1 Elementos de interrupção.**

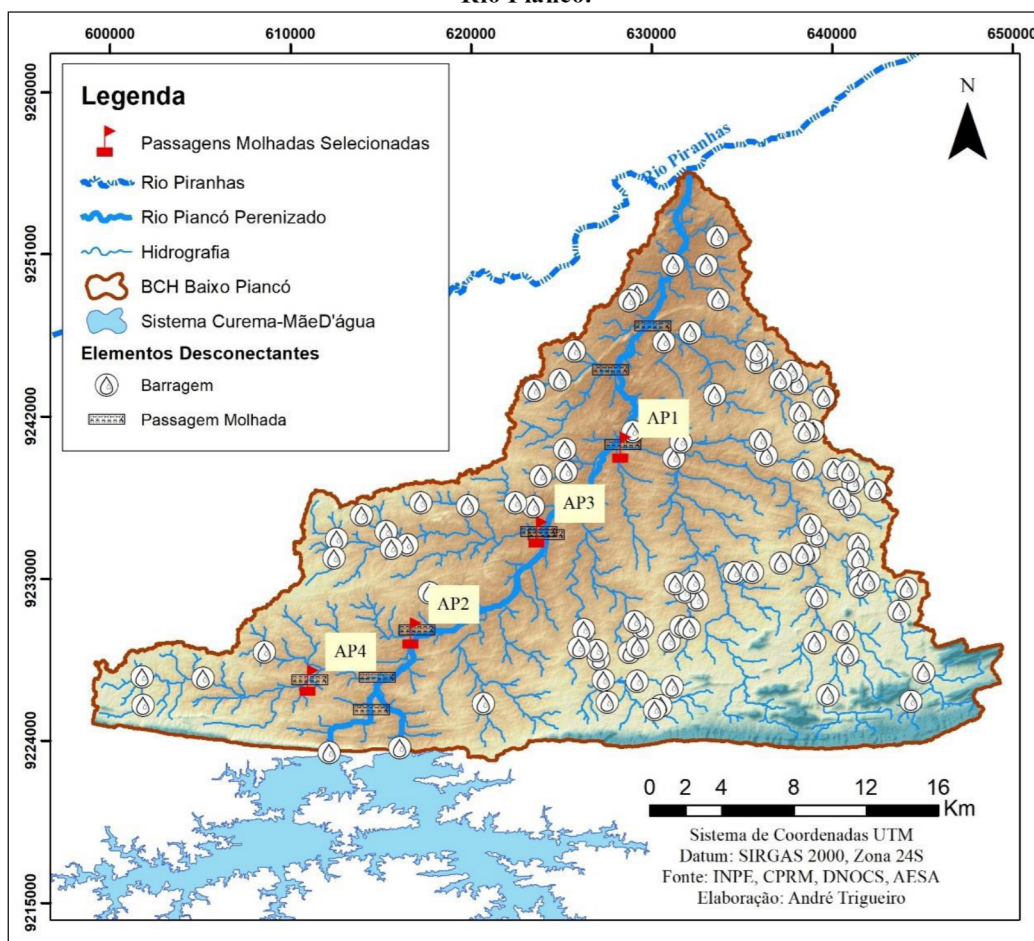
A bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Piancó, não destoa ao que se verifica em outras bacias hidrográficas semiáridas do nordeste brasileiro, conta com a presença de um misto de barragens domésticas e de engenharia, onde o maior número está nas barragens domésticas, constituída de maneira desordenada no interior da bacia hidrográfica (Figura 13). Outras estruturas compõem para o cenário da bacia hidrográfica, como pontes, barreiros, estradas e rodovias, e passagens molhadas.

Observa-se a concentração de barragens, especialmente domésticas, nas áreas de cabeceira de drenagem, instaladas em canais de primeira ordem. Um maior espaçamento

entre as barragens é verificado nas proximidades do vale do Rio Piancó, com regime perenizado, havendo somente uma única barragem instalada ao longo do canal principal, essa, com a finalidade de controlar vazão para unidade de captação de sistema adutor regional.

A presença de passagens molhadas e se concentra em áreas mais rebaixadas, próximo ao canal principal, com forte relação à concentração de fluxo nestas localidades e as características do canal. Essas estruturas são verificadas no trecho perenizado do Rio Piancó e em seus afluentes, de regime intermitentes e efêmeros.

**Figura 13: Espacialização de elementos desconectantes no interior da BCH do baixo curso do Rio Piancó.**



Os efeitos na transmissão do fluxo de água e sedimentos no interior da bacia se faz evidente, as barragens acabam por desconectar abruptamente a transmissão de sedimentos em áreas a montante (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a; COELHO, 2008) e consequentemente intensificam os processos de erosão e

incisão vertical dos canais a jusante (COELHO, 2008) pois cada elemento de interrupção vai interferir de maneira diferente na dinâmica fluvial, a montante e a jusante

O registro dessas unidades e sua distribuição, demonstra a necessidade de compreender a área de captação efetiva das sub-bacias de cada passagem molhada selecionada.

#### **6.1.1 Área de Captação Efetiva**

Partindo do levantamento dos elementos de desconexão presentes na Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do Rio Piancó, foram selecionadas quatro passagens molhadas instaladas em afluentes do canal principal, (Figura 13).

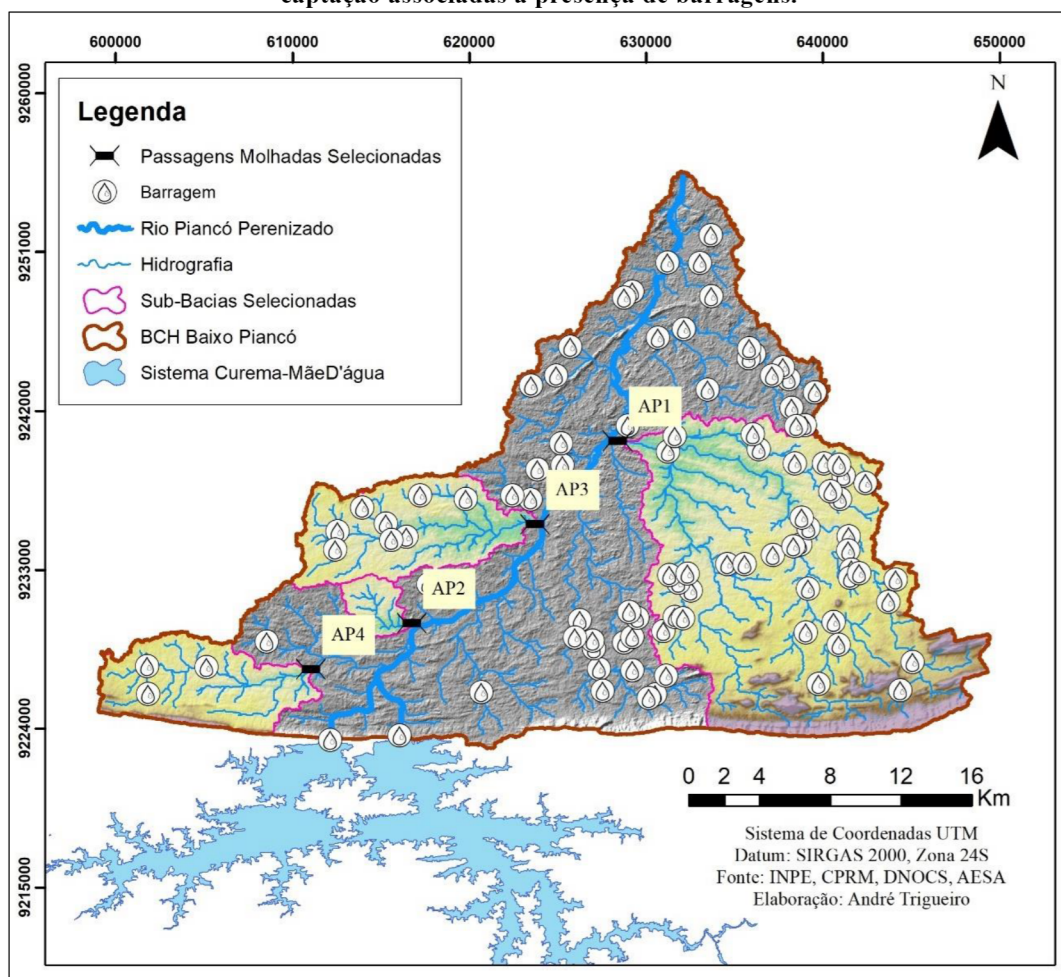
A escolha se deu virtude da diferenciação de regime verificada entre o canal principal, perenizado, e seus afluentes, intermitentes. Necessitando de formas de abordagem distintas, seja no monitoramento ou no tratamento dos elementos desconectantes considerando a dinâmica morfológica e o regime de fluxo presente nos canais.

Os pontos de interrupção previstos inicialmente foram sete, contudo, no decorrer da atividade de coleta, a quantidade foi alterada, sendo reduzida à quatro passagens molhadas. Essa redução se deu considerando os meios de acesso às localidades, alterações antrópicas no leito do canal e segurança dos membros da equipe de coleta.

Compreendendo a localização de cada passagem molhada na bacia hidrográfica, foi delimitada as áreas de captação, tendo como exutório a estrutura de interrupção (Figura 14), sendo a bacia de drenagem delimitada partindo do ponto. Contudo, para a avaliação da área de captação efetiva, as áreas de drenagem foram analisadas observando a presença de elementos de desconexão, em especial barragens, visto que a presença destas unidades no interior da área de captação vai alterar substancialmente a movimentação de sedimentos entre trechos.

É de grande relevância assimilar o comportamento das áreas de captação de cada passagem molhada, negligenciar tais características permite o surgimento de subestimativas e/ou superestimativas acerca da oferta de sedimentos e do comportamento morfológico dos cursos fluviais. Sendo assim, foi realizada a requalificação as áreas de captação dos pontos selecionados.

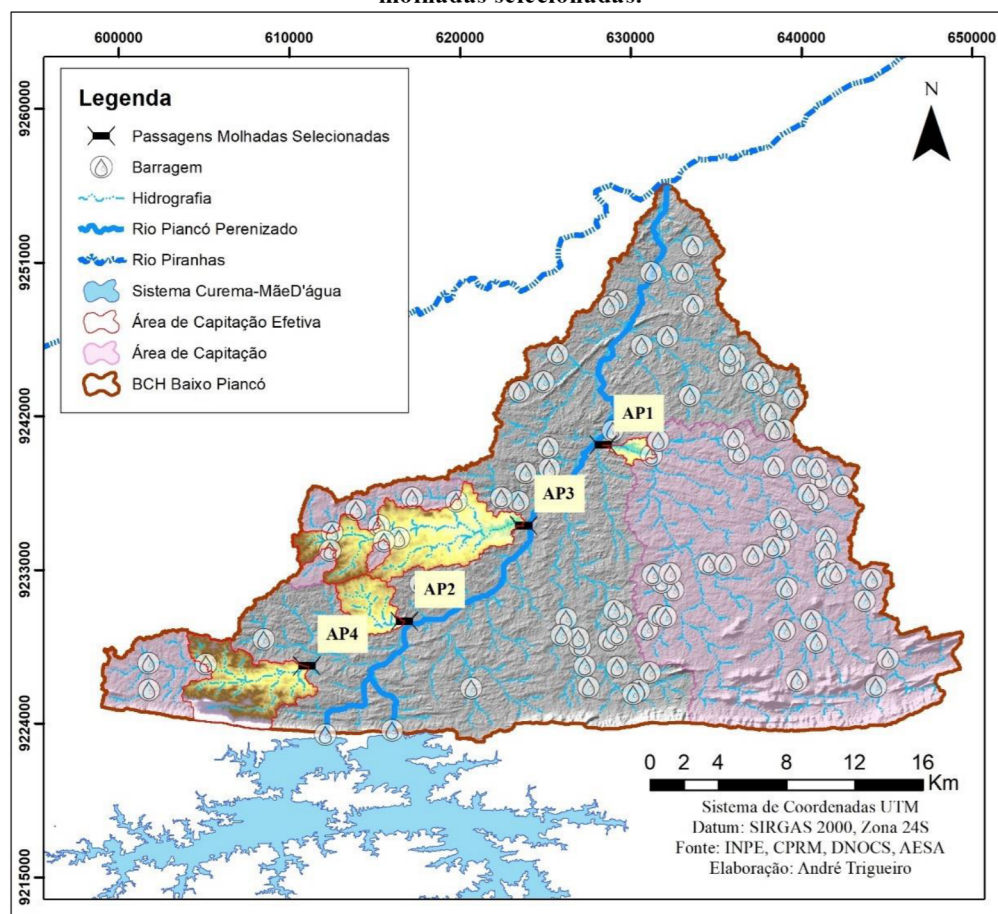
**Figura 14: Mapa de localização dos pontos de interrupção selecionados e suas áreas de captação associadas à presença de barragens.**



Esse ajuste se fez necessário, tendo o que alertaram Brierley, Fryirs e Jain (2006), ao destacarem os cuidados que devem ser tomados quando a conectividade de uma área for analisada. Deste modo, compreende-se que a presença de uma barragem vai desconectar a transmissão de sedimentos de carga de fundo das áreas a montante com as áreas a jusante a partir da estrutura do represamento. A requalificação das áreas de captação efetiva dos pontos avaliados torna claro os efeitos da presença de barragens nestas localidades (Figura 15), áreas de captação maiores acabam sendo reduzidas drasticamente não em virtude da passagem molhada analisada, mas sim da espacialização das barragens ao longo da Bacia Hidrográfica.



**Figura 15: Mapa de área de Captação Efetiva de transmissão sedimentológica das passagens molhadas selecionadas.**



Das quatro sub-bacias de captação de cada passagem molhada analisada, apenas uma não sofreu alterações de área devido à ausência de barramentos a montante. As demais áreas de captação tiveram redução da área conectada e aumento da área desconectada (Tabela 5), a área de captação do ponto AP1, restou-se apenas 2km<sup>2</sup> de área conectada, o mesmo ocorre com os pontos AP3 e AP4, que de 59,15 e 48,03km<sup>2</sup> foram reduzidas à 38 e 26 Km<sup>2</sup>. Somente o ponto AP2 que teve sua área de captação efetiva idêntica à área de captação.

**Tabela 5: Tipologia de impedimentos dos pontos selecionados e área drenada a partir do ponto de interrupção, considerando áreas conectadas e desconectadas.**

Nº / Ponto	Elemento de Interrupção	Área Captação (km <sup>2</sup> )	Áreas Desconectada por Barragens (km <sup>2</sup> )	Área de Captação Efetiva (km <sup>2</sup> )
AP1	Passagem Molhada	139,97	137,97	2,0
AP2	Passagem Molhada	9,29	0	9,29
AP3	Passagem Molhada	59,15	21,15	38,0
AP4	Passagem Molhada	48,03	22,03	26,0

Fonte: O autor

Considerando as alterações que as barragens vão provocar à área de captação efetiva, é necessário compreender que estas estruturas são construídas para suportarem eventos de magnitudes altas. Diferentemente do que se registra em elementos menores, em que a ocorrência de eventos extraordinários tende a remobilizar/romper essas estruturas. Destaca-se ainda que ações de gestão e manutenção podem dar sobrevida a barragens danificadas. Tampouco a ruptura de uma barragem não torna uma área anteriormente desconectada em conectada.

Por seguinte, a escala de tempo efetiva requer de pronto assimilar a temporalidade dos eventos de precipitação capazes de gerar alterações nos canais. Os eventos classificados de acordo com sua magnitude, foram distribuídos em baixa, moderada e alta, obedecendo os limiares de separação (Tabela 6). A série histórica de vinte e seis anos (1994-2019) presente nas três estações pluviométricas utilizadas permitiu compreender a ocorrência anual de cada magnitude dos eventos e por fim foi traçado a média histórica evento/ano organizados (Tabela 7). As médias de ocorrências anuais de eventos de magnitude alta, moderada e baixa foram respectivamente **0,22**, **1,16**, e **49,47**, traçados a partir das médias dos três postos pluviométricos analisados.

**Tabela 6: Delimitação dos patamares as magnitudes dos eventos de precipitação de acordo com cada estação pluviométrica.**

Magnitude/Estação	Coremas	São José da Lagoa Tapada	Pombal
Magnitude Alta (mm)	≥ 109,00	≥ 121,23	≥ 118,80
Magnitude Moderada (mm)	< 109,00 ≥ 70,16	< 121,23 ≥ 69,69	< 118,79 ≥ 68,85
Magnitude Baixa (mm)	< 70,15 ≥ 1,00	< 69,69 ≥ 1,00	< 68,85 ≥ 1,00

Fonte: Autor.

Os limiares utilizados para classificar os eventos de precipitação não divergiram expressivamente entre as estações pluviométricas, havendo homogeneidade entre as



faixas delimitadas. Diante destes eventos, as passagens molhadas vão se comportar de maneira variada, considerando o tempo construção e as quantidade de eventos experimentados.

A média de ocorrência de eventos de precipitação busca trazer um panorama da distribuição dos eventos de precipitação no período analisado. Sendo assim, os eventos de magnitude alta registram média de recorrência a cada cinco anos, os de magnitude moderada possuem registro médio de dois eventos anuais. Permitindo compreender que anualmente há movimentação de sedimentos no interior dos canais e na área de captação efetiva, podendo tal movimentação ser potencializada pelas características antecedentes da bacia hidrográfica, onde se destacam o comportamento da vegetação, saturação do solo e presença de fluxo no canal. Os eventos de magnitude baixa, possuem os maiores valores de ocorrência média, variando entre quarenta e cinco e cinquenta eventos anuais. Esses eventos merecem destaque considerando as condições antecedentes e frequência, gerando escoamento superficial e proporcionando a manutenção de fluxo intracanal (AVIAD; KUTIEL; LAVEE, 2009). Contudo não exprimem potencial capaz de proporcionar movimentações massivas de sedimentos de carga de fundo.

Partindo do total de ocorrências anuais ao longo da série histórica (Tabela 7) de cada um dos postos pluviométricos analisados, os eventos de magnitude alta registram totais entre 5 e 6 ocorrências. Os eventos de precipitação de magnitude moderada variaram entre 30 e 36 episódios ao longo dos vinte e seis anos, já os de magnitude baixa alcançaram totais que oscilaram entre 1313 e 1354 registros.

Os eventos de magnitude alta, aqueles considerados os mais significativos por proporcionarem alterações substanciais no sistema fluvial, considerando a capacidade de movimentação de sedimentos no interior da área de captação efetiva, não alcançaram registros anuais superiores à duas ocorrências, com predominância de ocorrências espaçadas, tendo intervalos de recorrência variando entre dois e seis anos. Possuindo nos anos de 2004, 2008, os que mais registraram eventos desta magnitude.

Contudo, o ano de 2004 apresenta padrão de comportamento que não ocorre nos demais anos que compõem a série histórica analisada dos três postos pluviométricos. Sendo o único ano da série histórica a registrar eventos de magnitude alta em todos os postos pluviométricos utilizados.

A ocorrência de eventos de magnitude moderada registra valores anuais máximos variando entre quatro e cinco episódios. Sendo predominante a ocorrência entre um e dois eventos anuais. Avaliando sua distribuição, os eventos dessa magnitude apresentam irregularidade, não havendo comportamento homogêneo, entretanto, em todos os anos da série histórica registrou-se a ocorrência de eventos desta magnitude em ao menos um dos três postos pluviométricos.

Essa magnitude reflete que mesmo com irregularidade pluviométrica na região semiárida, a movimentação potencial de sedimentos ao longo das áreas de captação efetiva de cada passagem molhada pode ser alcançada, considerando os eventos de magnitude moderada.

**Tabela 7: Série histórica (1994-2019), dos postos pluviométricos analisados, levantamento das ocorrências anuais dos eventos de precipitação, classificados por magnitude. Total dos eventos de precipitação por magnitude a partir dos postos pluviométricos. Média total das magnitudes dos eventos a partir dos postos pluviométricos analisados.**

a partir dos dados apresentados nos anexos.

Magnitude/Ano	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Média anual
COREMAS																												
Magnitude Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	6	0,23
Magnitude Moderada	4	1	3	2	0	1	1	2	0	2	0	0	4	0	1	1	0	1	0	1	2	1	0	1	0	2	30	1,15
Magnitude Baixa	56	50	54	46	31	48	74	44	71	58	68	57	54	51	75	85	44	62	19	42	30	24	37	43	42	48	1313	50,50
POMBAL																												
Magnitude Alta	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,19
Magnitude Moderada	0	3	1	1	1	1	0	0	2	2	3	1	2	1	3	2	2	1	0	1	1	1	1	1	0	0	31	1,19
Magnitude Baixa	78	54	69	56	34	45	70	36	62	53	59	42	53	45	62	63	42	65	32	50	43	34	44	45	52	66	1354	52,08
SÃO JOSÉ DA LAGOA TAPADA																												
Magnitude Alta	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	N/D	6	0,24
Magnitude Moderada	1	2	5	2	0	1	1	2	2	1	1	2	2	4	2	1	0	1	1	2	1	0	1	0	1	N/D	36	1,44
Magnitude Baixa	69	61	62	49	39	46	57	20	43	50	45	29	55	43	70	78	38	57	28	47	29	28	30	21	52	N/D	1146	45,84

Fonte: AESA. Elaborado pelo autor.

Os eventos de magnitude baixa são aqueles que mais registram ocorrências totais anuais, com registro mínimo de vinte eventos e máximo com oitenta e cinco ocorrências, registrados nos anos de 2001 e 2009.

Observa-se uma aparente falta de padrão entre a distribuição dos eventos de magnitude moderada e alta. Tampouco uma relação diretamente proporcional entre os eventos de magnitude baixa e demais magnitudes, visto que mesmo em anos com expressivas ocorrências de eventos dessa magnitude, não foi verificado um acompanhamento desse aumento nas ocorrências das demais magnitudes. Como pode ser observado nos anos de 1994, 1996, 2000, 2008, 2009 e 2011. Também merece destaque os anos de 1994, 2000, 2008 2009, foram os anos que registraram os maiores totais de eventos de magnitude baixa, mas que não obtiveram valores expressivos nas demais magnitudes.

Essa ausência de relação também pode ser verificada em anos com reduzidas ocorrências totais de eventos de magnitude baixa, a exemplo dos anos de 2001, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017, sendo que os eventos de magnitude moderada foram verificados. No ano de 2010, além de episódios de magnitude moderada, ocorreram eventos magnitude alta.

Percebe-se de pronto que não há relação direta entre as magnitudes. A ocorrência dos eventos de magnitudes moderada e alta, não aumentam em virtude do aumento da quantidade de eventos de magnitude baixa. Imprimindo a compreensão de que a ocorrência de eventos de magnitude alta está relacionada às características climáticas excepcionais, como atuação conjunta de dois sistemas sinóticos (NÓBREGA; FARIAS; SANTOS, 2015; NÓBREGA; SANTIAGO, 2016).

### **6.1.2 Características e modificações morfológicas**

As estruturas das passagens molhadas selecionadas são semelhantes em suas características, a todas são de concreto com a presença de manilhas no meio do corpo, permitindo a passagem de fluxo entre sua estrutura, associadas a estradas rurais. Outra semelhança é o comportamento homogêneo dos afluentes, por serem de regime intermitente. Entretanto, mesmo com esta semelhanças, as idades desses elementos proporcionam registros morfológicos específicos no canal, necessitando ser analisados.

O ponto AP1, está localizado no principal afluente do baixo curso, conhecido localmente por Riachão (Figura 16), construída entre os anos de 2007 e 2013. Esse curso fluvial também recebeu em entre os anos mencionados a instalação de uma barragem de engenharia, localizada a montante do ponto a cerca de 2,9km.

Verifica-se que entre as características da localidade, estão planícies de inundação elevadas e relação ao leito do canal, a presença de mata ciliar associada à cultivos. A presença de um poço amazonas, permite compreender a atuação de aquífero aluvial, corroborado pela sedimentação a montante da passagem molhada (Figura 17).

As características do canal a montante, apresentam sedimentação, com eventual ocorrência de aquífero aluvial. A jusante da estrutura, observa-se entalhamento do canal, com a existência de barras laterais e de leito. Permitindo inferir que estes elementos foram constituídos em eventos de menor magnitude, e que a ocorrência de eventos extremos, tende a remobilizar essas unidades em face da instabilidade aparente.

Analisando o gradiente do canal, evidencia-se a ocorrência de sedimentação a montante do elemento de interrupção, e rebaixamento topográfico gradativo a jusante, entretanto, o aprofundamento do canal, com o entalhamento do talvegue não se apresentou expressivo. Outro fator que interfere nas características do perfil, é a localização o ponto, estando próximo do canal principal do Rio Piancó, apresentando declividades suavizadas, essa proximidade proporciona entre outros comportamentos o afogamento do canal e presença de poças de água em virtude do nível do lençol freático. A sedimentação a montante contribui para compreender a alteração no nível de base que a retenção de sedimentos proporciona, sendo perpetuado a montante do canal.

Outrossim é a presença de rochosa subsequente a passagem molhada, interferindo na capacidade do fluxo erodir a base do elemento de desconexão. As características de erosão das margens somente foram verificadas próximo a base da estrutura.

A delimitação dos perfis laterais, detalhando nos três cortes as margens mais elevadas, com transições abruptas com a planície de inundação em ambas as margens. Entretanto, o canal não apresenta maior entalhamento, chegando a ter 30 metros de largura, com verificado no perfil 3. O perfil 1, detalha a característica do canal a jusante da passagem molhada, apresentando feição semelhante aos perfis 2 e 3, localizados a montante.

A largura do canal e a transição da planície de inundação corroboram com a interpretação que a competência deste afluente, que drena área de aproximadamente 140 km<sup>2</sup> é expressiva, quando comparado aos demais afluentes do rio Piancó, no baixo curso. Toda via, a implantação da barragem de engenharia traz comprometimento desta competência e do comportamento do canal.

Sendo esse ponto uma excelente localidade para realização de monitoramento a longo prazo, para compreender os efeitos que a construção de uma grande barragem, nas características morfológicas e sedimentológicas.

Figura 16: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3.

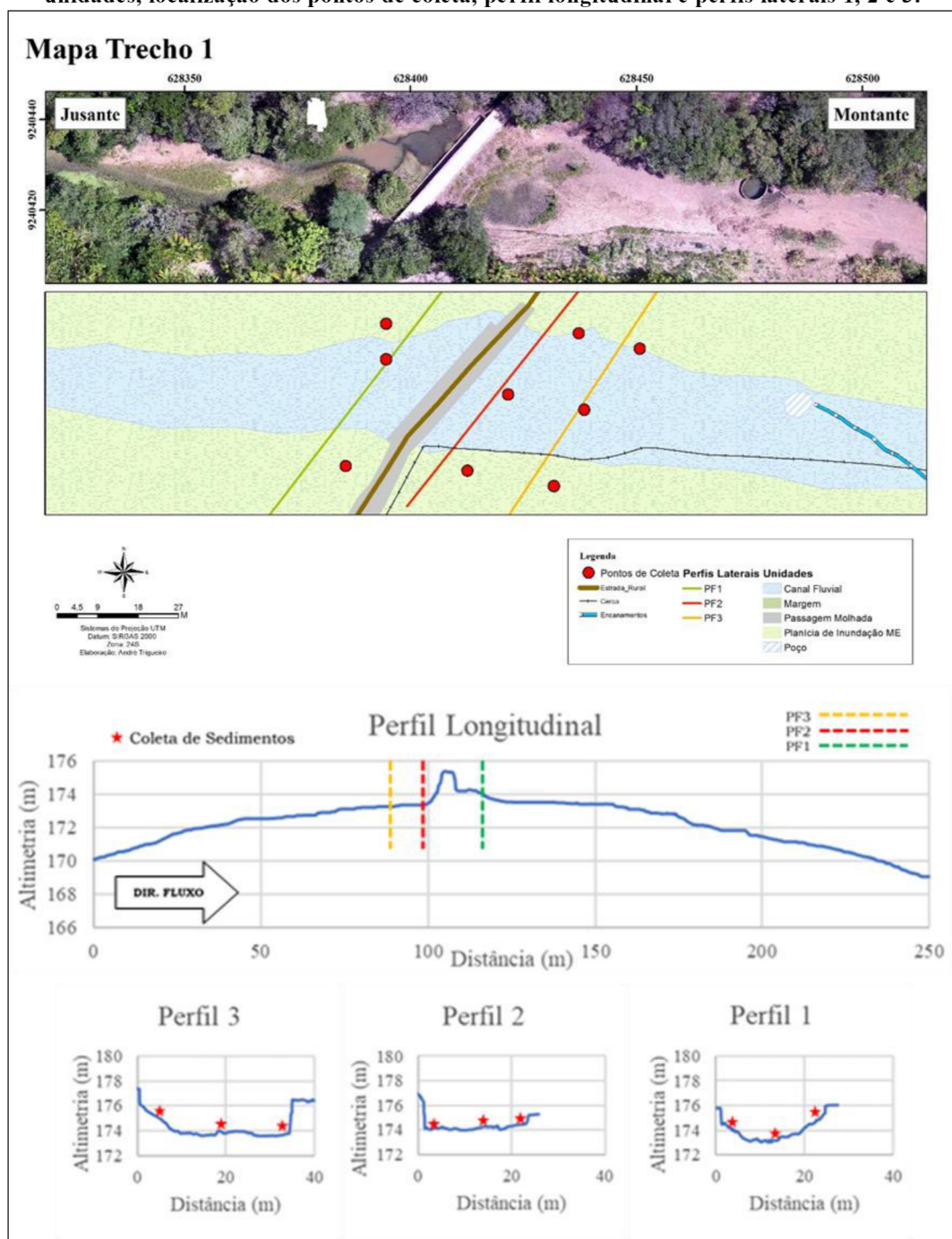
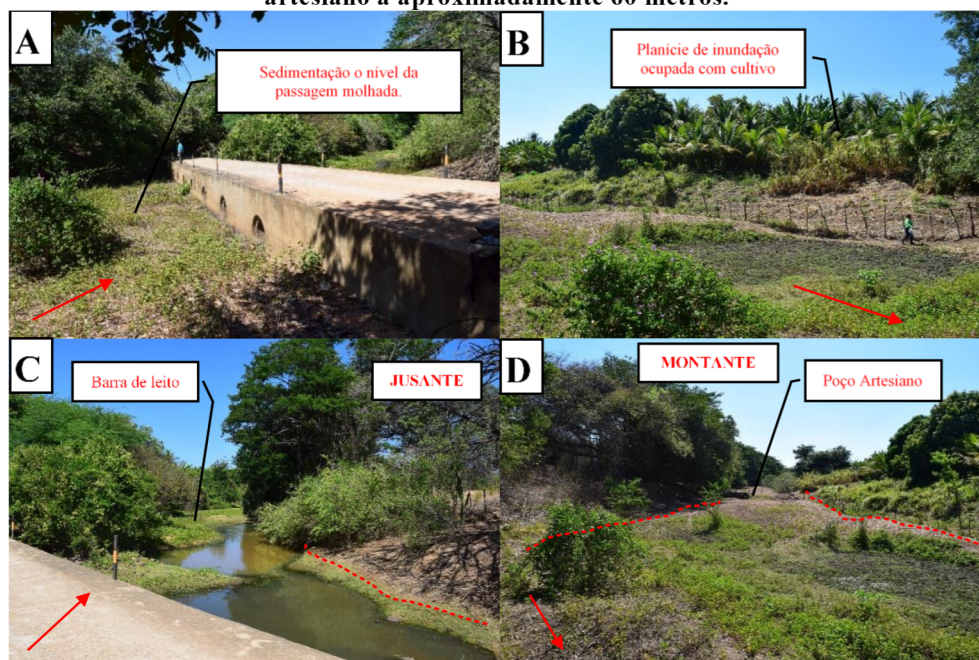


Figura 17: Características morfológicas do ponto AP1: A – Feição da passagem molhada com aparente sedimentação alcançando o nível das manilhas na estrutura do aparelho; B – Registro da transição entre o leito do canal e a planície de inundação, com presença de cultivos na área sobrejacente a margem esquerda; C – feições do canal a jusante da passagem molhada, com registro de entalhe próximo a margem direita; D – visão da



**sedimentação a montante a partir da estrutura de interrupção, com presença de poço artesiano a aproximadamente 60 metros.**



Fonte: Acervo do autor, A, B, C, D em 10/2019.

No ponto AP2, a passagem molhada está instalada em afluente do canal principal, drenando área de aproximadamente 9,3km<sup>2</sup>, a estrutura está associada a estrada rural paralela ao canal do rio Piancó. A passagem molhada possui cerca de 130 metros de comprimento, chegando a 1,6m de altura do topo para o leito do canal, construída entre os anos de 2014 e 2016 (Figura 18). Possui a presença de manilhas em sua estrutura, próximo ao nível do canal, contudo a sedimentação não alcançou a altura deste ponto (Figura 19).

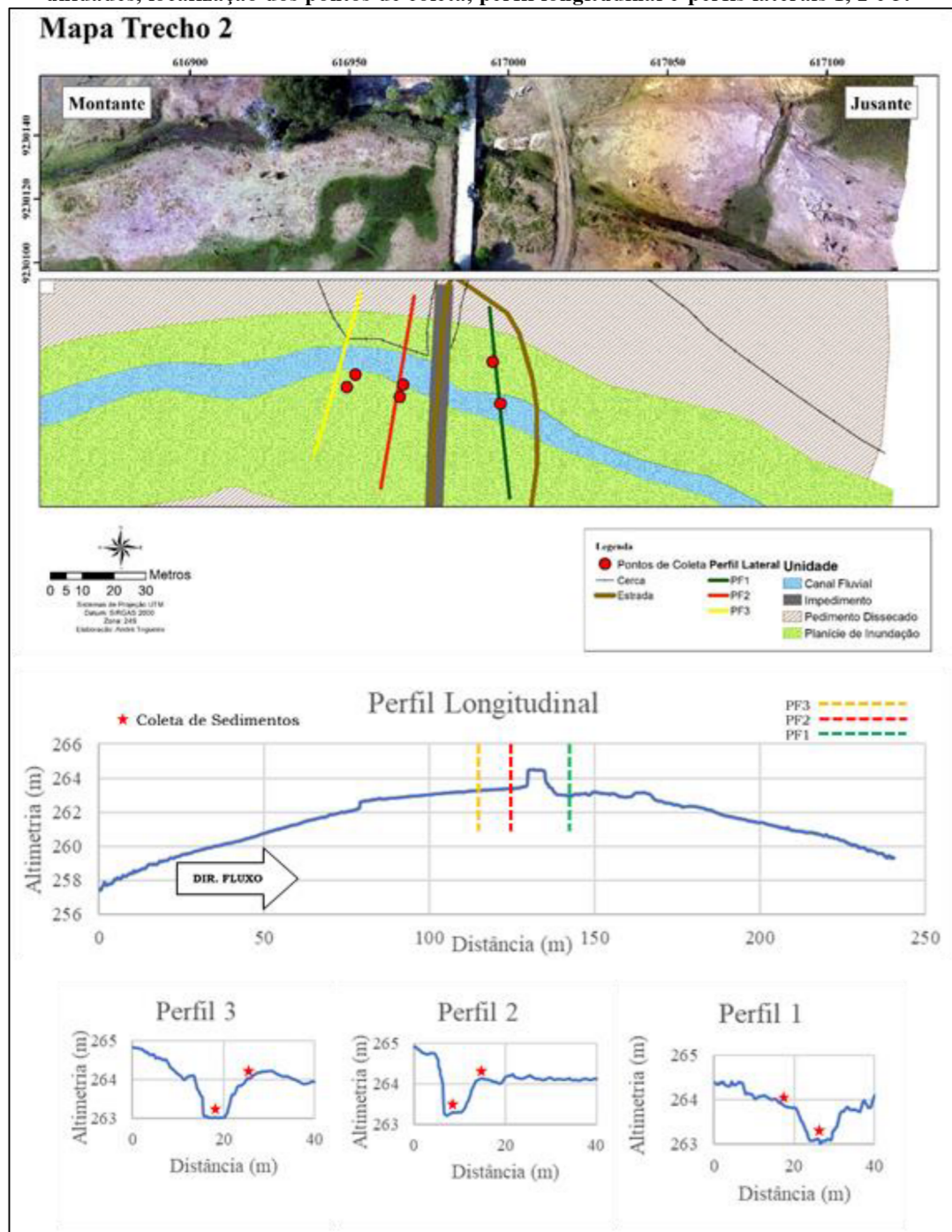
Analisando o gradiente do canal, observa-se que este apresenta comportamento côncavo, suas características iniciais corroboram para compreensão dos efeitos da estrutura na capacidade de transmissão de sedimentos. Registrando mudança do nível de base local a montante do aparelho.

Avaliando os perfis laterais, o canal se apresenta estreito e pouco profundo, tendo a planície de inundação alargada e plana, entretanto, há delimitação clara do canal, com pontos de entalhamento no perfil 2 a montante, e 1 essa a jusante do aparelho. A margem esquerda na altura do perfil 2 é reduzida em virtude da presença de afloramento rochoso e maior proximidade com a vertente, apresentando assim reduzida planície de inundação. Outrossim é presença escarça de vegetação ciliar, sendo toda a planície de inundação dedicada a atividade pastoril. Dentre as características fisionômicas da localidade, a



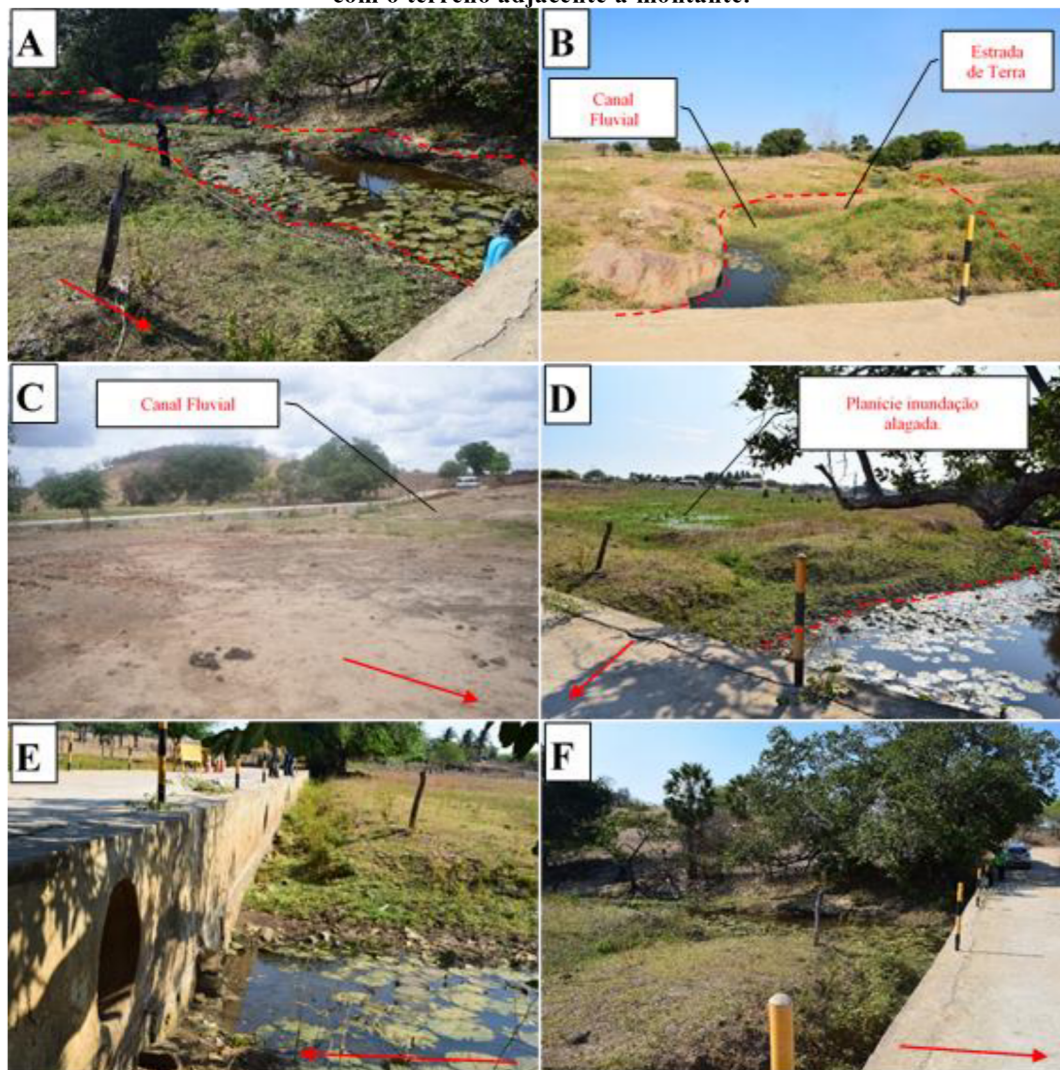
presença de áreas alagadas inseridas na planície de inundação. É baixa declividade do canal e a reduzida área de drenagem auxiliam no entendimento da baixa competência desse ponto.

**Figura 18: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3.**



**Figura 19: Características morfológicas do ponto AP2: A – visão de área a montante do canal a partir da passagem molhada, com detalhe para a largura do canal que chega a aproximadamente 5m e o contato entre a margem esquerda com o pedimento; B – Visão a**

jusante, com detalhe ao entalhe do canal e seu estreitamento; C – vista do comprimento parcial da estrutura de jusante para montante; D – margem direita com transição suave para a planície de inundação, que apresenta pontos alagados contribuindo para o canal; E – perspectiva entre o topo da passagem molhada e o canal, com detalhe para a presença de manilhas que não foram alcançadas pela sedimentação; F – Altura da passagem molhada com o terreno adjacente a montante.



Fonte: Acervo do autor, A, B, D, E e F em 10/2019; C em 12/2018.

O ponto AP3, a estrutura da passagem molhada destoa em parte das demais, sendo registrada a presença de manilhas de concreto, mas que o corpo do elemento de interrupção é constituído de blocos de rocha e concreto (Figura 20 e Figura 21). Constituída entre os anos de 2006 e 2007, possui altura do topo para o leito do canal de aproximadamente 1m a montante e 1,5m a jusante. A área apresenta a montante do elemento de interrupção a presença de sedimentação e leito escavado a jusante, com a presença de soleira e margem rochosa.

Destaca-se que essa passagem molhada é que apresenta maior período de implantação, quando comparado com os demais pontos. Onde o canal experimentou eventos de magnitudes variadas deste que recebeu a intervenção a partir da construção da passagem molhada. Um sinal que corrobora para tal compreensão são as características aparentes de colmatação a montante que alcançam a manilhas, repercutindo o novo nível de base a jusante.

A transição do canal para sua planície de inundação é suave na margem esquerda e mais abrupta na margem direita, tanto a montante quanto jusante da passagem molhada. Analisando o gradiente do canal, é possível aferir que o canal não dispões de declividade acentuada, com uma condição retilínea associada a ruptura após a passagem molhada. Mesmo com esse comportamento, fica evidenciado a sedimentação a montante e o entalhe do canal a jusante, entretanto, observasse que a concentração de sedimentação a jusante se diferencia dos demais pontos. A presença de soleiras rochosas a jusante corrobora para esse comportamento do gradiente.

Nos perfis laterais, verifica-se que o canal nos perfis 3 e 2, apresentam o canal definido, mas sem entalhamento. No perfil 1, fica evidente o entalhamento do canal após a passagem molhada, combinada com a margem direita rochosa e a existência de soleiras rochosas.



Figura 20: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3.

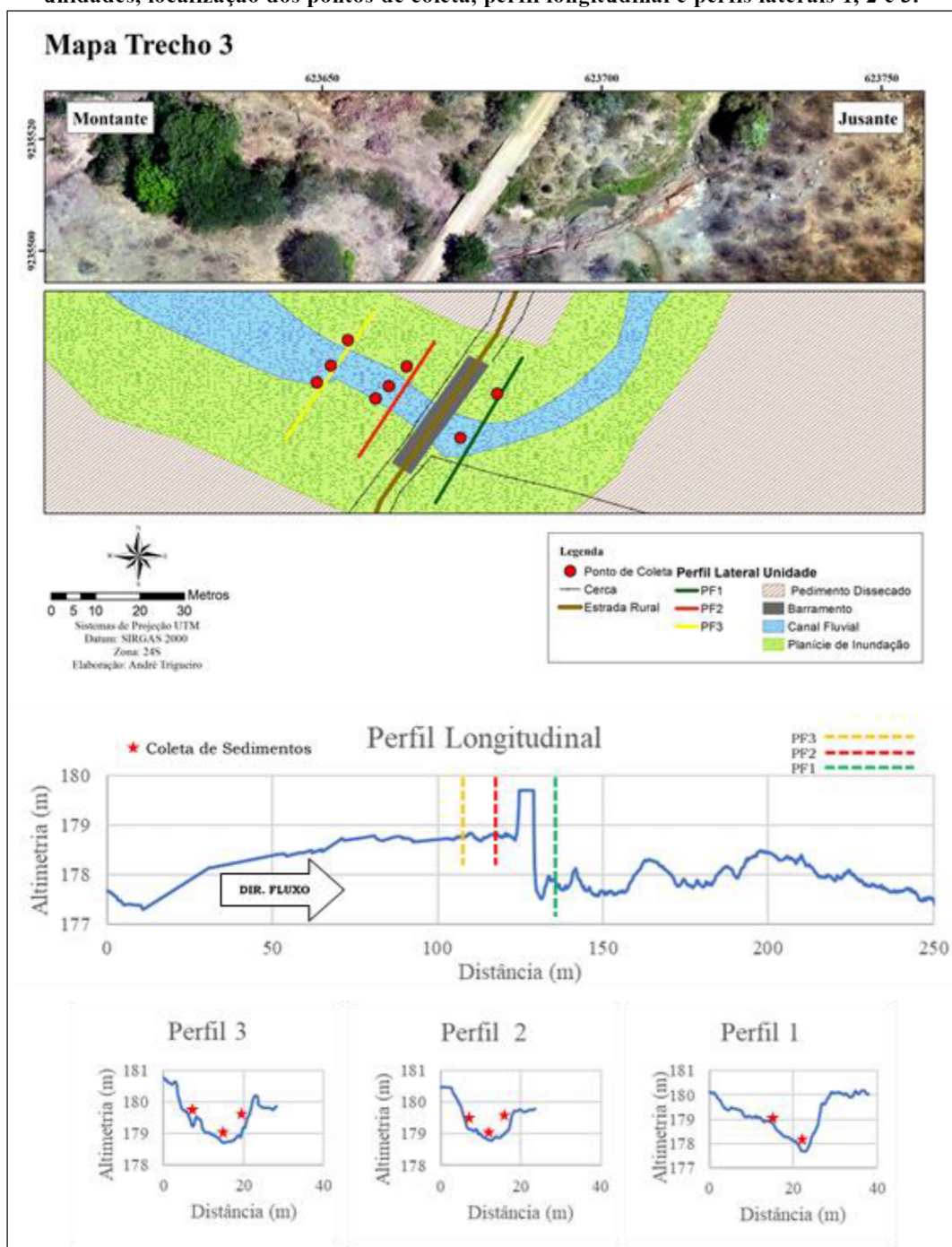
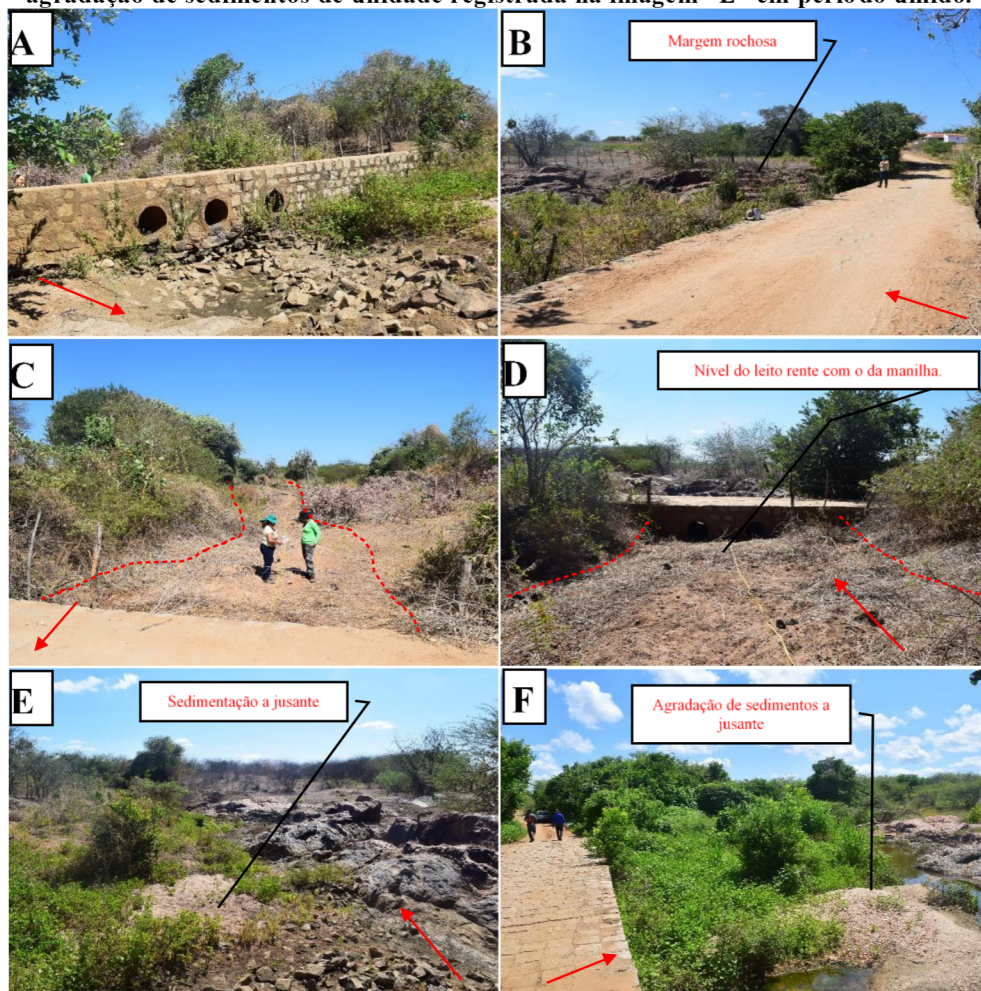


Figura 21: Características morfológicas do ponto AP3: A – Face a jusante da passagem molhada, com enxerto de blocos de rocha no canal com a finalidade de reduzi a escavação a jusante, próximo a estrutura, presença de manilhas; B – presença de margem direita rochosa a jusante do impedimento, com detalhe para estrada rural associada à estrutura; C – vista da área a montante do canal a partir da passagem molhada, com detalhe para sedimentação e canal pouco definido; D – Visão do impedimento a parti de área a montante, destaca-se a colmatção preenchendo o canal, tendo já alcançando as manilhas no meio da estrutura; E –

detalhe da passagem de sedimentos a jusante da passagem molhada, em período seco; F – agradação de sedimentos de unidade registrada na imagem “E” em período úmido.



Fonte: Acervo do autor, A, B, C, D, E em 10/2019; F em 02/2020.

O ponto AP4 (Figura 22), não destoa do cenário das passagens molhadas AP1 e AP2, entretanto, a localidade durante a execução do presente trabalho sofreu alterações. Em vez da passagem molhada de terra associada a blocos rochosos de estrutura preenchida, registrada ao longo dos anos de 2017 e 2018, foi dado lugar a uma passagem molhada de concreto preenchida por manilhas (Figura 23). Além da mudança de localização da estrutura, ficando mais a jusante, toda porção a montante da estrutura de interrupção foi remobilizada e/ou removida.

Essa mudança da estrutura, se deu em virtude da construção de uma usina fotovoltaica na região, onde a rota de funcionários, maquinários e materiais é feita através da estrada rural que passa na localidade. Outras áreas foram alteradas além do leito fluvial, as margens e vegetação ciliar também sofreram alterações ou foram suprimidas, com a intenção de proporcionar maior uso para atividades agropecuárias.

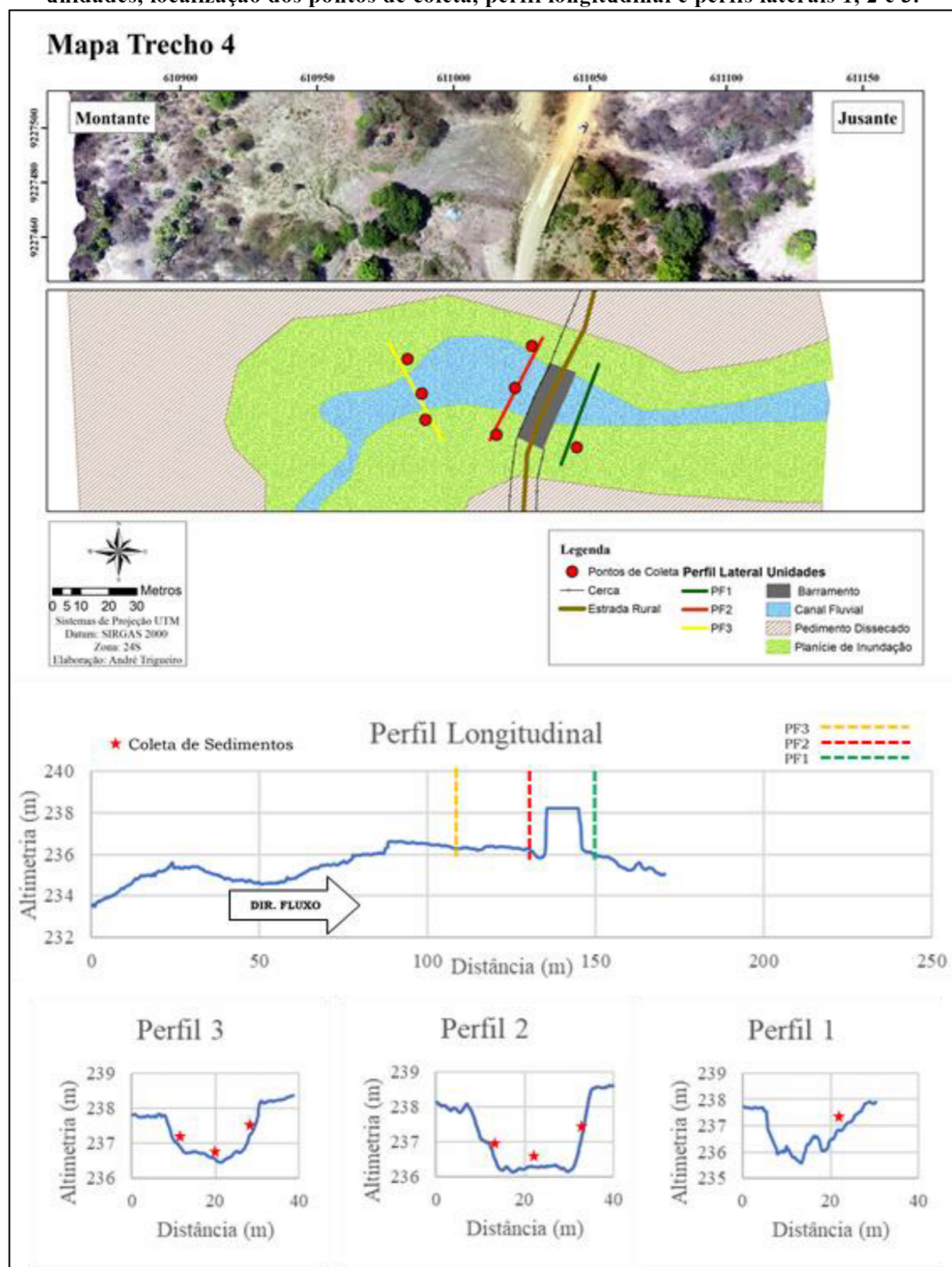
Contudo, faz-se necessário destacar que o canal na localidade vem sofrendo interferências desde 2004, com a instalação de passagens molhadas e rupturas dessas estruturas ao experimentarem eventos de magnitudes variadas.

Em virtude das alterações, as características locais do canal e de suas margens foram alteradas, especialmente a montante do elemento de interrupção. Assim, o leito ora, estreito, foi alargado. Analisando o gradiente do canal, é possível verificar como as ações antrópicas modificaram o comportamento do perfil, ficando evidente que o processo de sedimentação a montante se manteve.

A jusante da passagem molhada, o que se verifica é o entalhamento do canal, que ao analisamos o perfil lateral 1, fica evidente. No perfil 2, o que se observa é esse foi delimitado na altura da estrada antiga que passava sobre o canal fluvial, onde as margens do canal acompanham as feições da estrada e o leito apresenta poucas variações, estando encravado na área modificada. O perfil 3 foi distanciado a 40 metros da passagem molhada, a fim de registrar o comportamento do canal fluvial fora da área revolvida. Esse, apresenta o canal bem delimitado, mas sem entalhamento, não fugindo ao esperado, considerando a sedimentação a montante que limita os processos de incisão.

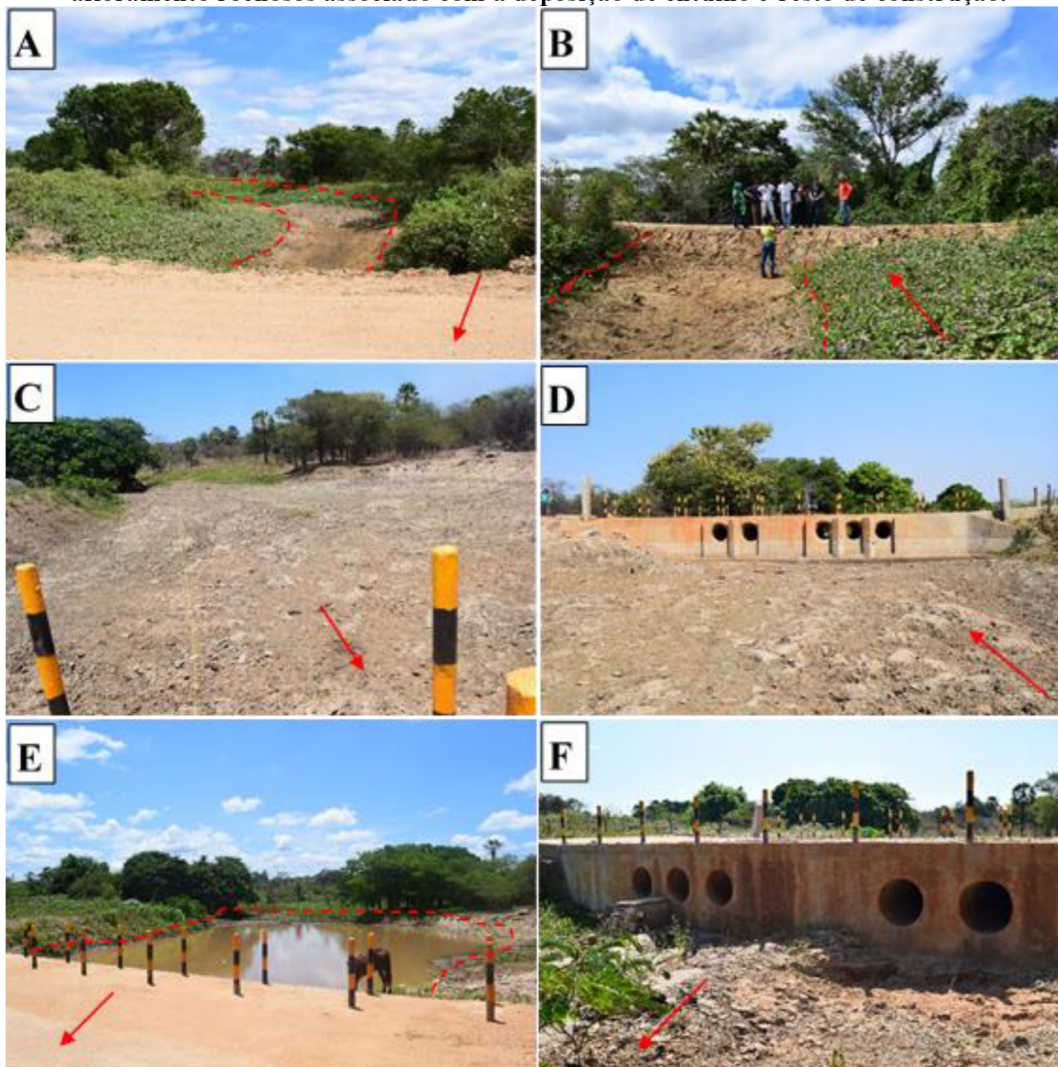


**Figura 22: Síntese do mapa de localização da passagem molhada no canal, compreendendo as unidades, localização dos pontos de coleta, perfil longitudinal e perfis laterais 1, 2 e 3.**



**Figura 23: Características morfológicas do ponto AP3: A – visão de área a montante a partir da altura da passagem molhada de terra, em 06/2017, estrutura removida, destaca-se a sedimentação e a largura do canal que era de cerca de 4m; B – perspectiva da face da passagem molhada da terra a partir de área a montante, estrutura com manilhas ou formas de passagem de fluxo facilitada; C – vista de área a montante remobilizada a partir da nova estrutura da passagem molhada, alargamento do canal com a finalidade de represamento de**

água; D – passagem molhada construída dando lugar a estrutura de terra, presença de manilhas mais elevadas com objetivo de represar água, destaca-se a baixa sedimentação do trecho recentemente alterado; E – Área alagada a montante da passagem molhada, em período úmido; F – características a jusante do da passagem molhada, com a presença de afloramento rochosos associado com a deposição de entulho e resto de construção.



Fonte: Acervo do autor, A e B em 06/2017; C, D e F em 08/2019 e; E em 02/2020.



### 6.1.3 Características sedimentológicas

Compreender a dinâmica sedimentológica e como a hidrodinâmica vai atuar na distribuição dos sedimentos através das áreas a montante e a jusante de cada passagem molhada, é preponderante, visto que corrobora com a avaliação das interferências que a conectividade de sedimentos vai sofrer em virtude da alteração no canal fluvial. Tendo por base os resultados obtidos em laboratório através da análise das amostras coletadas em campo.

Em cada trecho, das quatro passagens molhadas selecionadas, foram realizadas nove amostras por ponto, divididas em três perfis laterais, um a jusante do impedimento e outros dois a montante, recebendo numeração iniciando de jusante à montante (ex.: PF1, PF2, ...). Em cada perfil foram extraídas três amostras de sedimentos, uma no leito (Leito - L) e uma em cada margem (Margem Direita – MD, Margem Esquerda – ME), contudo, em alguns pontos não foi possível efetuar a coleta de sedimentos. Das trinta e seis amostras previstas, apenas trinta amostras foram alcançadas, entre os motivos estão a presença de soleiras e margens rochosas.

Com exceção do ponto AP1 (Figura 24), os demais trechos tiveram alguma ausência de amostras. No ponto AP2 houve três, na margem direita do perfil 1 e na margem esquerda dos perfis 2 e 3. O AP3 registrou uma única ausência, na margem direita do perfil 1. Já no ponto AP4, houve duas faltas, ambas no perfil 1, uma no leito e outra na margem esquerda.

Analisando individualmente cada trecho, observa-se que o ponto AP1 tem a predominância nas proporções de areias em todas suas amostras. Nos materiais de leito, a presença de cascalho é maior nos perfis 2 e 3, e reduzida no perfil 1, esse não alcançando proporção superior a 3%. Os materiais mais finos não ultrapassaram 15% nas amostras de leito. Nos resultados dos materiais das margens, mesmo com a predominância de areia, há um aumento nas quantidades de sedimentos finos, em especial silte que alcança proporções entre 40% e 20% em todos os perfis. A divergência de comportamento ocorre com a presença de cascalhos nos perfis 2 e 3 localizados a montante.

O AP2 possui o registro mais curioso entre as amostras, visto que os materiais de leito possuem divergência expressiva nas proporções granulométricas. O PF1-L possui proporções de cascalho superiores às demais amostras de leito, alcançando 23% contra 3% e 5% dos perfis 2 e 3 localizados a montante. Os sedimentos mais finos encontram

comportamento esperado nas amostras de leito, com maiores proporções os perfis 2 e 3 registrando 40% e 60%, com menor proporção no perfil 1 chegando a 7% de sedimentos finos. As margens possuem maior proporção de sedimentos finos não havendo distinção entre os perfis. O AP2, como já mencionado possui baixa declividade é possui aparente influência do canal principal do Rio Piancó, é também uma área com comportamento alagado, principalmente nas áreas a montante da passagem molhada.

As informações granulométricas do AP3, de pronto confirmar o que já foi abordado, que esse ponto é predominantemente arenoso, com baixas proporções de materiais finos, que não ultrapassam 20% em todas as amostras, com exceção do PF1-ME, que registrou 25% na proporção de finos. A distribuição no leito de materiais mais grosseiros, em especial o cascalho, foi mais expressiva nos PF2-L e PF3-L tendo respectivamente ambos a montante, toda via, o PF1-L também registrou valores de cascalho próximos à 7%. Dito isto, a capacidade de transmissão de sedimentos de carga de fundo alcança porções a jusante do impedimento.

Referente ao ponto AP4, esse registrou proporções de sedimentos finos, em especial silte, em todas as amostras coletadas no ponto superiores a 40%, sejam elas de leito ou margem. Os materiais de leito alcançaram variações de sedimentos finos entre 43% e 50% nos PF2-L e PF3-L. As margens também alcançaram variações de sedimentos finos entre 40% e 70% com as maiores proporções nos perfis mais a montante, destacando-se PF3-MD e PF3-ME. A presença de cascalho foi registrada em todas as amostras, não ultrapassando 5%. As alterações que ocorreram neste ponto, como o revolvimento de área e retirada de material a montante do impedimento podem ter reduzido a quantidade de materiais mais grosseiros,

Com relação entre sedimentos grosseiros e finos, A proporção de sedimentos finos nas amostras de leito variou entre 2% e 18% nos pontos AP1 e AP3, entre 38% e 62% nos pontos AP2 e AP4. Os sedimentos grosseiros compreenderam variação 85% e 92% nos pontos AP1 e AP3 e 38% e 90% nas amostras dos pontos AP2 e AP4.

As margens apresentaram homogêneo composição, com sedimentos finos variando entre 15% e 50% nos pontos AP1, AP2 e AP3, com exceção das amostras do AP4 que registraram proporções maiores, alcançando valores entre 40% e 75%. Os sedimentos grosseiros oscilaram na faixa entre 25% e 85%, com o AP4 apresentando as menores proporções.

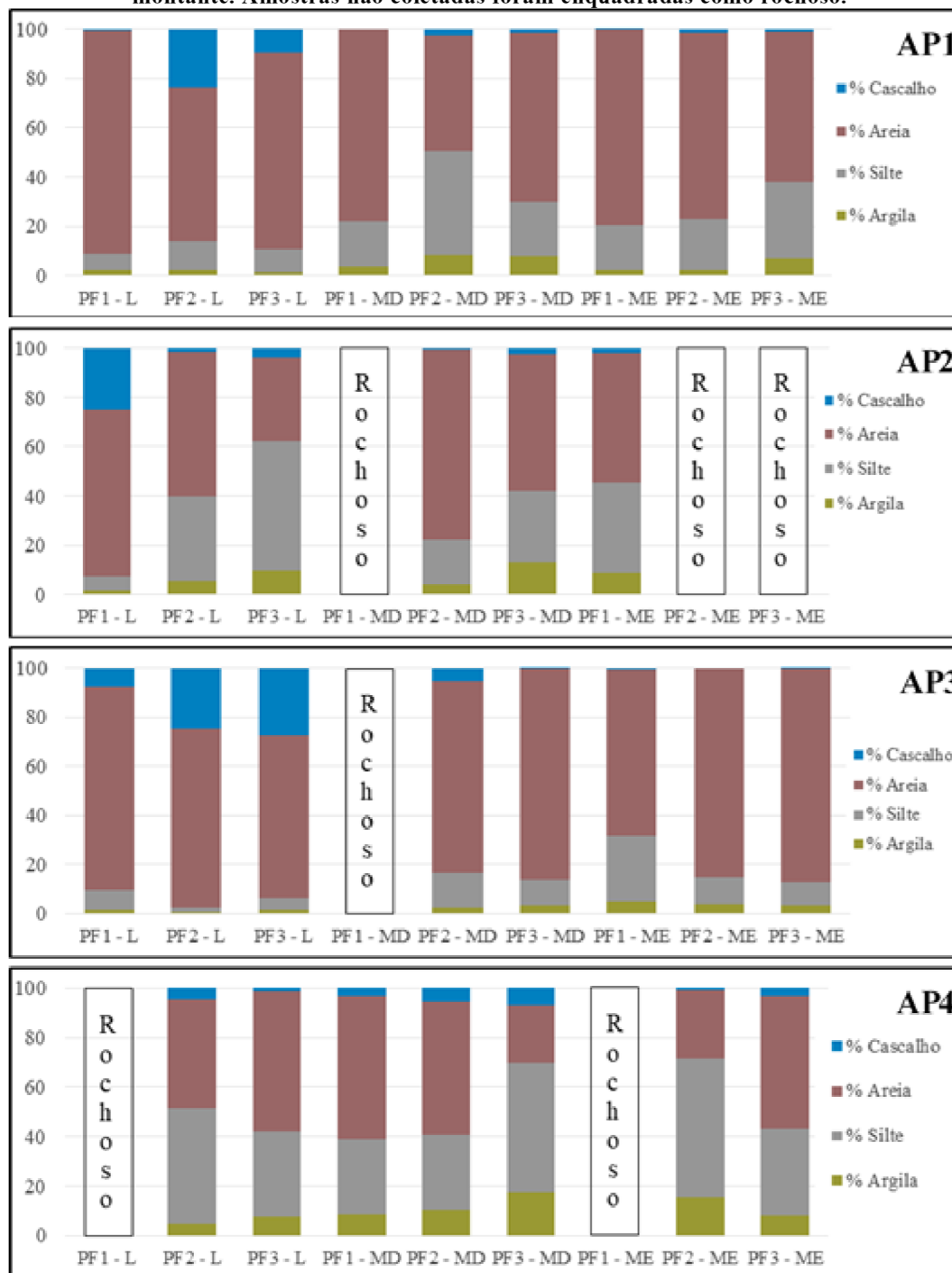
A classificação dos sedimentos foi predominante de areia, com registro de silte grosso em contraponto (Tabela 8). A hidrodinâmica relacionada com ocorrência da sedimentação, detectaram que essa se deu mediante fluxo turbulento. Variando entre hidrodinâmica muito alta e alta de acordo com o diagrama de Pejrup e silte arenoso e areia no diagrama de Shepard.

Nas áreas onde amostras com altas concentrações de sedimentos grosseiros verifica-se que energia de fluxo é maior do que nas que apresentam maiores proporções de finos. O AP2 e AP4 que concentram parte das amostras com maiores taxas de silte e argila, apresentam gradientes de baixa energia e competência de fluxo. Em contrapondo-se aos pontos AP1 e AP3, que registram maior energia e competência e reduzidas proporções de sedimentos finos.

Merece destaque o ponto AP3, que como já mencionado possui a passagem molhada mais antiga, observa-se que a presença de cascalhos em todas as amostras de leito, corroborando com entendimento que considerando a magnitude do evento a transmissão de sedimentos pode ser alcançada mais facilmente, quando comparado com os demais pontos.

Faz-se aqui um apontamento quanto ao PF1-L do ponto AP2, a amostra ao apresentar maior proporção de cascalho em comparação com os perfis de leito a montante, em que pese PF2-L e PF3-L, auxiliam a compreender esse registro duas abordagens. A primeira devido a uma ruptura na face a montante da passagem molhada que fez vazar o preenchimento da estrutura que é feito com sedimentos de fonte estranha ao local. Outra compreensão deste valor é a frequente movimentação de caminhões de transporte de areia de uma jazida próxima a localidade, que proporciona a adição destoante de sedimentos grosseiros, em especial cascalho.

**Figura 24: Distribuição proporções granulométricas das amostras coletadas nos pontos trabalhados, agrupados obedecendo as posições de Leito – L, Margem Direita – MD e Margem Esquerda – ME na sequência dos perfis laterais levantados, de jusante para montante. Amostras não coletadas foram enquadradas como rochoso.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 8: Dados hidrodinâmicos dos diagramas de Pejrup e Shepard, gerados no *software* Sysgran.**

Perfil		Margem Esquerda	Leito	Margem Direita
<b>AP1</b>				
PF1	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia Fina Hidrodinâmica muito alta Areia ou arenito	Areia Fina Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	Areia Fina Hidrodinâmica muito alta Areia ou arenito
PF2	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Silte grosso Hidrodinâmica muito alta Areia ou arenito	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia siltica	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica
PF3	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	Areia muito fina Hidrodinâmica alta Areia siltica
<b>AP2</b>				
PF1	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Silte grosso Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	N/D N/D N/D
PF2	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	N/D N/D N/D	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Areia fina Hidrodinâmica muito alta Areia ou arenito
PF3	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	N/D N/D N/D	Silte grosso Hidrodinâmica muito alta Silte arenoso	Areia muito fina Hidrodinâmica alta Areia siltica
<b>AP3</b>				
PF1	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	N/D N/D N/D
PF2	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia fina Hidrodinâmica alta Areia ou Arenito	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	Areia média Hidrodinâmica alta Areia ou arenito
PF3	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia fina Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	Areia grossa Hidrodinâmica alta Areia ou arenito	Areia fina Hidrodinâmica alta Areia ou arenito
<b>AP4</b>				
PF1	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	N/D N/D N/D	N/D N/D N/D	Areia muito fina Hidrodinâmica alta Areia siltica
PF2	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Silte grosso Hidrodinâmica alta Silte arenoso	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Silte arenoso	Areia muito fina Hidrodinâmica alta Areia siltica
PF3	GRANULOMETRIA PEJRUP SHEPARD	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Areia muito fina Hidrodinâmica muito alta Areia siltica	Silte grosso Hidrodinâmica alta Silte arenoso

Fonte: Elaborado pelo autor.

## **6.2 Passagens molhadas e conectividade de sedimentos.**

Neste tópico são abordadas as passagens molhadas a partir da análise integrada do que foi apresentado nos tópicos anteriores. Compreendendo como a conectividade sedimentológica é influenciada pelas passagens molhadas, identificando padrões de comportamento do sistema fluvial.

Partindo das características analisadas nos pontos selecionados, é possível construir do entendimento de que as passagens molhadas, apresentam modificações nas características morfológicas, sedimentológicas do trecho fluvial ao qual estão instalados. Sendo que, diferentemente do que ocorrem em canais perenes ou perenizados artificialmente, a conectividade sedimentológica ocorre através de pulsos (HOOKE, 2016) proporcionados pela magnitude e frequência dos eventos de precipitação/escoamento, gerando fluxo no canal movimentando assim água e sedimentos, por curtos períodos. Dito isso, compreender como cada passagem molhada se relaciona, ao longo do tempo, com a quantidade de eventos de precipitação e suas respectivas magnitudes, é construir o entendimento de como determinados eventos poderão alterar as características locais do canal.

Diante da ausência de dados, saber o tempo de construção destes elementos é de vital importância, contudo, tais informações também se fazem ausentes, visto que o menor porte das estruturas acaba por não produzir material técnico do processo de construção, tampouco são objetos de acompanhamento. Uma alternativa foi o uso de imagens de satélites e relatos da comunidade que permitem inferir aproximações quanto ao tempo de instalação das estruturas (Tabela 9).

Soma-se aos fatores que incidem na análise destas estruturas, a presença de barramentos ao longo das áreas de captação altera drasticamente a dinâmica sedimentológica, visto que dependendo da área e a quantidade de barramentos, porções consideráveis da bacia ficam desconectadas, servindo de exemplo o ponto AP1 (Tabela 9). Outro critério é a variação da quantidade de barramentos ao longo do tempo, que considerando a dinâmica de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, tenderá ao aumento do número de estruturas.

A distribuição espacial das barragens também merece ser consideradas, pois influenciam na capacidade do fluxo do canal. O ponto AP1 foi o ponto com maior

proximidade com uma barragem, essa de engenharia, com distância de aproximadamente 3km, restando apenas uma área de captação aproximadamente 2 km<sup>2</sup>.

A quantidade de eventos experimentados pelas estruturas expõe o cenário de como os canais e a conectividade sedimentológica vem se adaptando a presença das passagens molhadas. A passagem molhada mais nova é a do AP4, com dois anos de implantação, seguido dos pontos AP2 e AP1, tendo cinco e sete anos respectivamente, ficando o AP3 como a mais antiga, com tempo de construção superior há quinze anos (Tabela 9).

Os impactos longitudinais identificados devido instalação de passagens molhadas e seus efeitos sobre conectividade sedimentológica dos canais aponta sedimentação a montante com aumento das proporções de sedimentos grosseiros, em especial areia e cascalho, indicando alta capacidade de retenção e alterações do nível de base local, sujeitando acúmulo de sedimento a ao longo da calha a montante, demonstrado principalmente nos pontos AP1 e AP3. Verifica-se também que a presença de proporções de sedimentos finos a montante dos impedimentos, como detalhado no AP2, alerta para os efeitos da baixa declividade, a capacidade das áreas de captação efetiva e a competência do canal. Porém, verificando a presença de cascalho a jusante da passagem molhada do ponto AP3, que apresentava maior nível colmatação entre os demais pontos, sendo a passagem molhada mais antiga, com idade superior há quinze anos (Tabela 9).

Considerando apenas o tempo de implantação das passagens molhadas foi estimada a quantidade de eventos de chuva que cada elemento experimentou (Tabela 9). Essa estimativa frisou somente o período de implantação de cada estrutura, visto que não foi possível compreender, tampouco mensurar o tempo que a localidade vem sofrendo intervenções antrópicas em uma escala de tempo mais ampla. Como é o caso do ponto AP4, que vem sendo submetido a intervenções há aproximadamente 21 anos, mas que possui a passagem molhada mais recente.

Tendo sido o AP4 o que menos experimentou eventos de chuva e suas magnitudes, não sendo registrados eventos de magnitude alta, apenas três eventos de magnitude moderada, e 99 eventos de magnitude baixa. Onde o sistema fluvial não foi capaz de proporcionar movimentação de sedimentos grosseiros (areia e cascalho) de forma expressiva, tendo em vista a alta proporção de sedimentos finos a montante da estrutura. Sujeitando à um grau de colmatação incipiente, considerando que a sedimentação não alcançou o nível da base da estrutura da passagem molhada.

**Tabela 9: Painel síntese das características gerais dos pontos analisados. Área de captação efetiva: Desc - Desconectada, Eftv - Efetiva. Estimativa de Eventos: M.A – Magnitude Alta; M.M – Magnitude Moderada, e; M.B – Magnitude Baixa.**

Nº Ponto	Estrutura da Passagem Molhada	Idade de construção (anos) *	Forma e Sedimentologia		Área de Captação (Km²)			Estimativa de Eventos (Até 2019) **			OBSERVAÇÕES
			Montante	Jusante	Total	Desc	Eftv	M.A	M.M	M.B	
<b>AP1</b>	CONCRETO MANILHAS	~7	Canal não confinado; Canal simétrico; Unidades intracanal não aparentes. Agradação de sedimentos de areias Predominância de cascalho; Baixa proporção de finos	Canal não confinado; Canal simétrico; Entalhe do canal; Unidades intracanal não aparentes; Retirada de sedimentos; Predominância de areias; Baixa proporção de finos	139,97	137,97	2	2	9	346	Colmatação: Moderada; Transmissão de sedimentos é alcançada em eventos de magnitudes moderadas e altas.
<b>AP2</b>	CONCRETO MANILHAS	~5	Canal semiconfinado; Canal assimétrico; Unidades intracanal não aparentes; Agradação de sedimentos; Predominância de areias; Alta proporção de finos.	Canal semiconfinado; Canal assimétrico; Unidades intracanal não aparentes; Entalhe do canal; Retirada de sedimentos; Predominância de areais e cascalhos; Baixa proporção de finos.	9,29	0	9,29	1	6	247	Colmatação: Incipiente; Transmissão de sedimentos somente é alcançada em eventos de magnitude alta; A presença de cascalhos a jusante se dá por aterro do canal e tráfego de caminhões areeiros na localidade.
<b>AP3</b>	BLOCOS DE ROCHA ARGAMASSA MANILHAS	>15	Canal não confinado; Canal assimétrico; Unidades intracanal não aparentes; Agradação de sedimentos; Predominância de areias com presença de cascalho; Baixa proporção de finos.	Canal semiconfinado; canal assimétrico; unidade intracanal aparentes; entalhe do canal; retirada de sedimentos e afloramento rochoso; predominância de areias com presença de cascalho; baixa proporção de finos.	59,15	21,15	38	3	19	742	Colmatação: Avançada; Transmissão de sedimentos ocorre em qualquer magnitude, variando apenas o granulometria e volume.
<b>AP4</b>	CONCRETO MANILHAS	~2	Canal não confinado; canal simétrico; unidade intracanal não aparentes; agradação de sedimentos; predominância de areias; altas proporções de finos.	Canal não confinado; canal assimétrico; unidades intracanal não aparentes; entalhe do canal; retirada de sedimentos; leito rochoso; predominância de areias	48,03	22,03	26	0	3	99	Colmatação: Incipiente; Área revolvida substancialmente; retirada de marial de leito; canal em adaptação; área já vem recebendo intervenções antrópicas há aproximadamente 21 anos.

Fonte: Elaborado pelo autor. \*: Delimitado a partir do histórico de imagens de satélite do *software* Google Earth e relatos da comunidade circunvizinha; \*\*: Estimado a partir da média dos eventos de precipitação das três estações pluviométricas.



Os pontos AP1 e AP2 por possuírem idades próximas, experimentaram quantidade de eventos aproximada, na magnitude alta foram dois para o AP1 e um único evento para o AP2, na convivência com os de magnitude moderada, foram 09 e 06 eventos respectivamente. Já nas ocorrências de magnitude baixa, foi houve maior diferença, sendo estimado para o AP1 346 eventos e 247 para o ponto AP2 (Tabela 9). Contudo, mesmo com tal proximidade, as características locais de cada ponto refletem comportamento distintos, o grau de colmatção no ponto AP1 foi enquadrado como moderado, considerando o nível de sedimentação a montante alcançando a base da estrutura da passagem molhada uniformemente ao leito do canal. Onde deve ser levado em consideração a construção recente de barragem de engenharia a montante, concluída no ano de 2013, reduzindo a área de captação efetiva e consequentemente a oferta de sedimentos a longo prazo. Já o ponto AP2 apresenta colmatção incipiente, com desnível entre o leito do canal e a altura das manilhas na metade da estrutura.

Sendo a estrutura mais antiga, a quantidade estimada de eventos de chuva/escoamento experimentados pelo ponto AP3, registrando três eventos de magnitude alta, 19 de magnitude moderada e 742 de magnitude baixa. Corroborando para o enquadramento do grau de colmatção como avançado, pois os sedimentos grosseiros já estão acumulados superando a base da estrutura e chegando até a metade do diâmetro das manilhas presentes na estrutura. Ocorrendo também a passagem de sedimentos a áreas a jusante da estrutura, ficando evidente que a capacidade de influência da passagem molhada sob o sistema fluvial destoa das demais, visto que há conexão sedimentológica de sedimentos grosseiros.

Merece destaque que nos pontos AP1, AP2 e AP3 não foi possível identificar alterações expressivas em virtude da instalação das passagens molhadas, devido ao grau de colmatção dessas estruturas, diferentemente do que ficou evidenciado no ponto AP4, com revolvimento de terra e alterações substanciais no leito do canal nas áreas a montante a partir da base do elemento de interrupção. Ao que se refere a localização das passagens molhadas abordadas ao longo da bacia hidrográfica, apenas a do ponto AP4 localiza-se distante do canal principal, os demais estão a menos de 1 km de distância do Rio Piancó regularizado.

Feitas essas considerações, é possível identificar indícios de comportamento temporal das passagens molhadas nos canais nos quais estão instaladas, sendo que as passagens molhadas em canais de regime intermitente e/ou efêmero, encontram entre seus

influenciadores a dinâmica do canal, o tempo e convivência com vazões diversas. Esse comportamento comum, identificado nos pontos analisados, considerando os apontamentos presentes na literatura nacional que dedicam considerações a respeito dos impactos das passagens molhadas (BEZERRA, 2010; CAVALCANTE, 2012; CAVALCANTE; CUNHA, 2012; CAVALCANTE et al., 2014), foi sistematizado em estágios de desenvolvimento da morfologia fluvial do canal a partir da implantação de uma passagem molhada.

Deste modo, foram delimitados quatro estágios de comportamento (Tabela 10; Figura 25). Primeiro estágio, instalação da passagem molhada, alterações longitudinais, verticais e laterais no leito. O segundo estágio, experimentação dos eventos de vazão, com sedimentação incipiente e erosão a jusante. No terceiro estágio, agradação de sedimentos a montante, com sedimentação alcançando a base da estrutura e alteração de nível de base local a montante, em fluxos turbulentos há transmissão de sedimentos. Já o quarto estágio, ocorre a colmatção da porção a montante da passagem molhada alcançando os níveis das tubulações, permitindo movimentação de sedimentos mais grosseiros (areia e cascalho) em eventos de magnitudes variadas, adaptação morfológica pós-eventos.

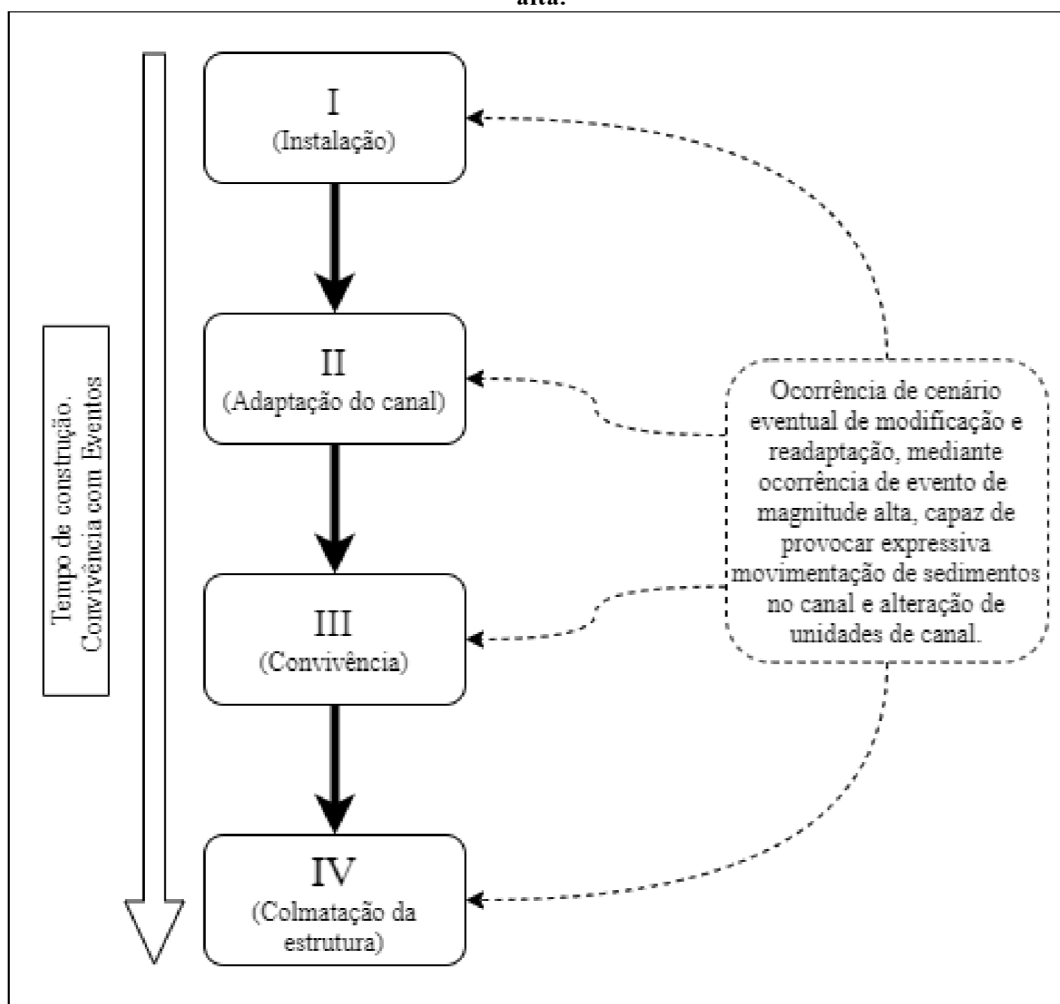
Para fim de compreensão, o modelo não se finda no quarto cenário, a ocorrência de cenário extremo, em qualquer um dos estágios, onde eventos de magnitude alta são capazes de gerar alterações severas na morfologia do canal, movimentando volume significativo de sedimentos modificando o canal, seja elevando a agradação de sedimentos a montante, ou maior capacidade de transmissão de sedimentos de montante para jusante da passagem molhada (Figura 25). O relacionamento entre os estágios e o cenário extremo, pode possuir caráter cíclico, o sistema fluvial vai se adaptar ao que foi desenhado/modelado por eventos de magnitude alta. Retornando ao comportamento habitual de sedimentação a montante e transmissão parcial de sedimentos. Sendo possível supor, que a quebra deste sequencial de estágios somente se dará mediante desmonte da estrutura, por força de ação antrópica ou ruptura da estrutura devido a evento de magnitude alta.

**Tabela 10: Estágios sequenciais identificados na dinâmica fluvial e características de sedimentação de passagens molhadas em cursos intermitentes.**

<b>I</b> (Instalação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação da passagem molhada;</li> <li>- Alterações locais no canal (longitudinais, verticais e laterais);</li> <li>- Canal com feições pré-instalação;</li> <li>- Alteração do nível de base.</li> </ul>
<b>II</b> (Adaptação do Canal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convivência com eventos de magnitudes variadas;</li> <li>- Descaracterização de unidades de canal à montante;</li> <li>- Retenção de sedimentos grosseiros à montante (areias e cascalho);</li> <li>- Agradação incipiente de sedimentos a montante;</li> <li>- Entalhe do canal a jusante;</li> <li>- Diminuição da oferta de sedimentos de carga de fundo;</li> <li>- Transmissão de sedimentos em suspensão.</li> </ul>
<b>III</b> (Convivência)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convivência com eventos de magnitudes variada;</li> <li>- Agradação da sedimentação a montante, alcançando base da estrutura;</li> <li>- Adaptação do gradiente do canal a montante, com nível de base em contínua adaptação;</li> <li>- Unidades intracanaís montante desenvolvidas obedecendo as vazões;</li> <li>- Aumento das proporções de sedimentos finos a montante, próximo a estrutura;</li> <li>- Aumento da erosão de canal a jusante da passagem molhada;</li> <li>- Transmissão de sedimentos ocorrendo em magnitudes moderadas e altas;</li> <li>- Transmissão de sedimentos em suspensão.</li> </ul>
<b>IV</b> (Colmatação da Estrutura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colmatação da porção a montante da passagem molhada;</li> <li>- Sedimentação alcançando níveis acima da base da estrutura de passagem;</li> <li>- Sedimentação de grosseiros é predominante;</li> <li>- Transmissão de sedimentos de carga de fundo à jusante (areias e cascalho) em qualquer magnitude;</li> <li>- Aumento da oferta de sedimentos grosseiros no canal, a jusante da passagem molhada.</li> </ul>
<b>Cenário Extremo</b>	
<b>(Modificação e Readaptação)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evento de magnitude alta (extravasamento do canal);</li> <li>- Movimentação massiva de sedimentos;</li> <li>- Possibilidade de agradação expressiva ou transmissão excessiva;</li> <li>- Transmissão de sedimentos à jusante;</li> <li>- Redefinição da morfologia do canal;</li> <li>- Readaptação do sistema fluvial às novas feições.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 25: Funcionamento dos estágios sequenciais e convivência com cenários de magnitude alta.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O grau de influência das passagens molhadas na conectividade sedimentológica ainda é pouco explorado na literatura nacional. Sendo na região semiárida, que essa escassez fica evidente, com o registro de poucos trabalhos analisando os efeitos alterações hidrosedimentológica relacionadas a passagens molhadas na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe (BEZERRA, 2010; CAVALCANTE, 2012; CAVALCANTE; CUNHA, 2012; CAVALCANTE et al., 2014). Mas que apresentam compreensões a respeito da espacialização destas estruturas e seus efeitos particulares, como os trabalhos de Bezerra(2010) e Cavalcante (2012) alcançaram. Contudo, as estruturas analisadas no presente trabalho possuem inicialmente características divergentes das passagens molhadas abordadas pelos autores, devido ao regime hidrológico dos canais fluviais e suas ordens.

Compreendendo os comportamentos comuns e delimitando os estágios para as passagens molhadas. Se faz necessário levantar outros tipos de pequenas intervenções longitudinais locais, fundamental para construção do entendimento de como estruturas semelhantes às passagens molhadas vão impactar na conectividade de sedimentológica e no entendimento sobre como a conectividade sedimentológica longitudinal é influenciada.

Dito isso, no âmbito internacional, a variedade de pequenas intervenções longitudinais fluviais é mais expressiva (*Weir, Check Dam, Sand Dam, FloodWay, Culverts, Drift e Fords*). Expressiva também é quantidade de trabalhos que se debruçam sobre múltiplas temáticas que direta ou indiretamente atingem esses elementos de interrupção. Trabalhos com fins ecológicos (KANG; KAZAMA, 2012), modelagem e espacialização (REMAÎTRE et al., 2008; LI et al., 2017), gestão e uso (CASTILLO et al., 2007; CONESA-GARCÍA; GARCÍA-LORENZO, 2009; CAVALLI et al., 2013; LOKUGE; SETUNGE; KARUNASENA, 2014; BRIERLEY; HOOKE, 2015b; MARCHI et al., 2019), manuais e especificações (CLEMMENS et al., 2001; BARNARD et al., 2013) e de sedimentação (CASTILLO et al., 2007; BUSSI et al., 2013; POLYAKOV et al., 2014; NICHOLS et al., 2016; NICHOLS; POLYAKOV, 2019).

Indicando que compreender de maneira mais abrangente as influências das passagens molhadas demanda uma gama de estudos e ações em várias áreas do conhecimento. Além das áreas de conhecimento, é preciso encarar como cada tipo de intervenção vai modificar o sítio onde está instalado de maneira específica. As aplicações das mais variadas formas de pequenas estruturas longitudinais, como já mencionadas, também são distintas.

A complexidade relacionada às estruturas agrega variações, as *Weirs* (pequenos reservatórios) e as *Check Dams* (barragens de controle), por exemplo, podem ser aplicados com processos de construção rústicos ou sofisticados, em áreas de cabeceiras de drenagem e/ou em confluências. A semelhança entre as passagens molhadas e os tipos de pequenas intervenções longitudinais fluviais, já considerados, é peculiar, visto que esteticamente e estruturalmente elas se assemelham as *Floodways, Culverts* e as *Foords*, sendo construídas sobre cursos fluviais com baixa amplitude entre o topo dessas estruturas e o leito dos canais, com a presença de manilhas/tubulações. Outra característica identificada é a possibilidade de os elementos ficarem submersos considerando a vazão momentânea do canal, quem alcancem o nível de margens plenas.

Contudo, o presente trabalho compreende que funcionalmente, as passagens molhadas possuem forte relação com os *Weirs*, *Check Dams* e até mesmo *Sand Dams* - essas tipologias mesmo possuindo nomes distintos, podem ser constituídas e compreendidas homonimamente. Visto que são identificadas semelhanças entre esses elementos de interrupção e as passagens molhadas, como a alteração do nível de base local, sedimentação a montante, retenção total ou parcial de sedimentos grosseiros (areia e cascalho) a montante, aumento da incisão canal a jusante após a estrutura, intensificação de processos erosivos a jusante, e até, aumento da aptidão do aquífero aluvial (NEAL, 2012; RENGANAYAKI; ELANGO, 2013).

Como no caso das *Check Dams*, estruturas mais populares, quando instaladas em canais intermitentes e efêmeros em ambientes semiáridos, são aplicadas sob múltiplas finalidades. Tais como, controle de erosão, estabilização de canais fluviais degradados, geração de áreas agricultáveis, retenção e oferta hídrica e controle de enchentes (LI et al., 2017). Mas que proporcionam comportamentos semelhantes aos verificados nas passagens molhadas analisadas, com efeitos a montante e a jusante.

A capacidade de retenção de sedimentos mais grosseiros e a facilidade para ultrapassar dos sedimentos mais finos, como silte e argila, encontra semelhanças nos trabalhos de Zehtabiyani et al. (2011); Bussi et al., (2013) e Vaezi et al., (2017), onde detectaram esse comportamento seletivo em *Check Dams* analisadas. Havendo convergência com o modelo cenários (Figura 25), onde as passagens molhadas acabam não retraindo sedimentos finos. A transmissão de sedimentos grosseiros em virtude do grau de colmatação das passagens molhadas, presente nos estágios III e IV e no cenário extremo, encontra semelhança em *check dams* preenchidas (NEAL, 2012; POLYAKOV et al., 2014), contudo, essa transmissão episódica de sedimentos de carga de fundo é inferior que ao que continua retido em porções a montante, como verificado por Castillo et al. (2007). A passagem de sedimentos mais grosseiros em face da colmatação das estruturas ainda vai depender da ocorrência de eventos de precipitação capazes de movimentar esses depósitos, especialmente aqueles de magnitude moderada e alta.

A temporalidade que envolve a colmatação das passagens molhadas apresentadas no modelo de estágios, não deve ser encarada unicamente sob a óptica de que quanto mais antiga, mais colmatada será a estrutura, outros critérios devem ser considerados. Como a ocorrência de eventos de magnitudes moderada e alta, visto que o comportamento da sedimentação em ambientes semiáridos se dá através de pulsos (BULL et al., 1999;

BULL; KIRKBY, 2002), sendo os eventos dessas magnitudes o que possuem maior potencial para movimentação concentrada de sedimentos, mas que possuem baixa frequência (POLYAKOV et al., 2014) e distribuição irregular.

As características de sedimentação/colmatação para pequenas estruturas longitudinais fluviais, bem como sua temporalidade não são facilmente delimitadas, entre os motivos está a falta de monitoramento pré e pós instalação e as características locais/regionais onde essas estruturas estão inseridas. Um exemplo pode ser verificado nos trabalhos de Nichols et al. (2016) e Nichols e Polyakov (2019), que ao monitorarem duas micro bacias vizinhas na região semiárida do estado do Arizona, nos Estados Unidos, que receberam um total de trinta e sete pequenas *check dams* compostas por blocos de rocha, verificaram que após três anos da implantação, uma das bacias já registrava colmatação das estruturas de controle. Soma-se a essa reflexão, que mesmo vizinhas, as bacias hidrográficas analisadas apresentaram resultados distintos.

Ainda sobre os fatores temporais, necessários à colmatação/preenchimento de elementos de interrupção de maior porte, Castillo et al. (2007) ao trabalharem com o monitoramento e avaliação de trinta e seis *check dams*, construídas nas décadas de 70 e 80, distribuídas em bacia hidrográfica de aproximadamente trinta quilômetros quadrados, na Espanha. Identificaram que passados aproximadamente vinte sete anos, vinte nove barragens estava preenchidas, cinco não foram totalmente colmatadas e outras duas romperam (CASTILLO et al., 2007).

A espacialização das chuvas, especificamente no semiárido brasileiro proporcionam situações em que áreas próximas podem não receber proporcionalmente a mesma intensidade de chuvas. Como observado no tópico da distribuição da magnitude dos eventos. Neste raciocínio, a área de captação efetiva de cada estrutura desempenhará papel importante, por justamente proporcionar a disponibilidade de sedimentos no interior do sistema, que poderão alcançar a localidade onde as passagens molhadas estão instaladas. Não menos importante, como destacado por Polyakov et al. (2014); Nichols et al. (2016) e; Nichols e Polyakov (2019), na análise dos fatores que influenciam a dinâmica do escoamento e transferência de sedimentos ao longo da bacia, compreender as variações de uso e cobertura ao longo do tempo é de suma importância, visto que apenas analisar a calha de sedimentos, sem considerações as áreas de interflúvios não permite analisar outros fatores envolvidos.

Mudanças morfológicas são registradas a jusante de pequenas intervenções longitudinais fluviais que encontram consonância com o que foi verificado nas passagens molhadas analisadas e presente no modelo desenvolvido (Tabela 10). O entalhamento do canal em áreas imediatamente a jusante das estruturas, permite presumir que a retenção de sedimentos é presente, com os canais adquirindo formato em “V”, com aumento da incisão vertical (CASTILLO et al., 2007; NEAL, 2012; LOKUGE; SETUNGE; KARUNASENA, 2014).

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tais apontamentos auxiliam na compreensão dos estágios de evolução do comportamento do canal fluvial em virtude da presença de uma passagem molhada. Entretanto, algumas ressalvas devem ser feitas, as variadas tipologias de pequenas intervenções longitudinais fluviais apresentam relacionamento com as passagens molhadas, visto que semelhanças e diferenças se fazem presentes. Para melhor compreender o que foi constatado nas passagens molhadas analisadas e detalhado no modelo dos estágios de evolução, esse ensaio deve ser realizado em outras bacias hidrográficas semiáridas que possuam passagens molhadas.

Um desafio se impõe ao estudo das passagens molhadas, compreende os impactos que esse tipo de estrutura proporciona ao sistema fluvial sem associá-las aos mesmos efeitos provocados por barragens e açudes. Devendo considerar, sua escala e as formas de impacto no sistema fluvial.

O presente trabalho buscou avançar na compreensão das influências de pequenas intervenções longitudinais fluviais, focando especificamente passagens molhadas em ambiente semiárido. A delimitação da área de captação efetiva, como sendo aquelas que realmente contribuem para a dinâmica hidrológica e sedimentológica para a área que cada passagem molhada drena, traz à baila uma análise aproximada da conectividade sedimentológica. Dentro desta delimitação, foram observadas modificações na dinâmica hidrológica e sedimentológica do sistema fluvial nos pontos onde as estruturas estão instaladas. Pois como mencionado, verificou-se que presença de uma passagem molhada acaba proporciona alterações a montante e a jusante a partir do ponto onde foi instalada.

Através dessa avaliação, foi possível desenvolvimento de modelo de estágio comportamento, delimitado a partir da identificação dos padrões hidrossedimentológicos, permitindo compreender como o sistema fluvial se adapta à construção de uma passagem



molhada e como esse elemento vai experimentar os mais variados níveis de vazão do canal, principalmente eventos de alta magnitude. Merece destaque o fato de que o modelo desenvolvido se encontra em fase inicial de elaboração, requerendo avanço na discussão e ser aplicado em outras áreas semiárida, tanto em áreas de produção, transporte e deposição de sedimentos que possuam uma passagem molhada instalada.

Contudo, para corroborar com a análise da conectividade sedimentológica associada às passagens molhadas e com o modelo desenvolvido, serão necessários outros trabalhos que busquem aprofundar o debate e aumentar a quantidade de informações que envolvem efeitos que as passagens molhadas exercem sobre canais intermitentes e efêmeros, são necessários estudos mais abrangentes.

Entre as temáticas que podem corroborar para compreensão dos efeitos das passagens molhadas, destacam-se as seguintes abordagens: Acompanhamento a longo prazo destas estruturas (períodos secos e úmidos); registro da incidência de eventos de magnitude alta; caracterização das unidades de canal; análise morfoestratigráfica da sedimentação a montante; levantamento da oferta de sedimentos na área de captação efetiva; avaliação da competência dos canais para transporte de sedimentos; avaliação do volume de sedimentos retido pelas estruturas; tempo necessários para colmatção da estrutura; acompanhamento da morfologia do canal a jusante; compreensão da relação de uso e cobertura com a oferta de sedimentos.

Sendo assim, o presente trabalho atingiu aos seus objetivos propostos, trazendo contribuições a análise da conectividade sedimentológica relacionada a pequenas intervenções longitudinais fluviais. Identificando pontos de interrupção do fluxo de água e sedimentos, tendo como base a área de captação efetiva, analisando os processos desconectantes proporcionado pelas passagens molha e como a conectividade de sedimentos se relaciona com tais elementos.

## 8 REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. G. de. Açude de Curema-Mãe D'Água - Estudo hidrológico do projeto de açudagem. **Boletim da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS**, v. 15, n. 1, jan- mar, p. 5–20, 1941.

ALCANTARA, V. C. et al. Evolução Geológica do Estado da Paraíba. In: TORRES, F. S. DE M. (Ed.). **Geodiversidade do estado da Paraíba**. 1ª ed. Recife: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2016. p. 124.

ALMEIDA, J. D. M. de. **DESCONECTIVIDADE DA PAISAGEM E COMPARTIMENTAÇÃO FLUVIAL DA BACIA DO RIACHO GRANDE, SERTÃO CENTRAL PERNAMBUCANO**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado), 2017.

ALMEIDA, F. F. M.; LEONARDOS, J. O.; VALENÇA, J. G. **Granitic rocks of north east South America**. [s.l.] IUGS-UNESCO, 1967.

ANA, A. N. de Á.-. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu: Resumo Executivo**. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2016.

ARAÚJO, E. D. S. **Classificação por unidade de paisagem e estudo da variação da biomassa da vegetação em um complexo de serras no interior da paraíba utilizando sensotiamento remoto**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Geografia (mestrado), 2018.

AUSTRALIA, G. of S. **Best practice guidelines: ford crossing in the Adelaide and Mount Lofty Ranges** Natural Resources Adelaide and Mt Lofty Ranges, Government of South Australia, , 2017. .

AVIAD, Y.; KUTIEL, H.; LAVEE, H. Variation of Dry Days Since Last Rain (DDSLR) as a measure of dryness along a Mediterranean – Arid transect. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 6–7, p. 658–665, jun. 2009.

BARNARD, R. J. et al. **Water crossings design guidelines**. Olympia: Washington Department of Fish and Wildlife, 2013.

BARROS, A. C. M. de. **Avaliação da desconexão encosta-canal na bacia do riacho grande/PB**. O autor. ed. Recife: Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco., 2014.

BARTLEY, R. et al. Runoff and erosion from Australia's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scales. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 15, p. 3317–3333, 15 out. 2006.

BEZERRA, M. de B. **Impactos de passagens molhadas na morfodinâmica fluvial do baixo curso do Rio Jaguaribe: uma análise a partir da Barragem das Pedinhas em Limoeiro do Norte - Ceará**. 2010. Universidade Estadual do Ceará, 2010.

BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, n. 3–4, p. 212–227, 2009.

BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **CATENA**, v. 75, n. 3, p. 268–277, nov. 2008.

BOSCH, B. E. van den et al. **Structures for water control and distribution**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO., 1993.

BRACKEN, L. J. et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, Pathways and future agendas. **Earth-Science Reviews**, v. 119, p. 17–34, 2013.

BRACKEN, L. J. et al. Sediment connectivity: A framework for understanding sediment transfer at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 2, p. 177–188, 2015.

BRACKEN, L. J.; COX, N. J.; SHANNON, J. The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 5, p. 683–696, 29 fev. 2008.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 1749–1763, 2007.

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Runoff generation, overland flow and erosion on hillslopes. In: THOMAS, D. S. G. (Ed.). **Arid Zone Geomorphology**. 3. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. p. 626.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, p. 165–174, 2006.

BRIERLEY, G.; HOOKE, J. Emerging geomorphic approaches to guide river management practices. **Geomorphology**, v. 251, p. 1–5, 2015a.

BRIERLEY, G.; HOOKE, J. Emerging geomorphic approaches to guide river management practices. **Geomorphology**, v. 251, n. 15, p. 1–5, dez. 2015b.

BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. **Catena**, v. 42, n. 2–4, p. 99–123, 2001.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape Sensitivity and Change. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 4, n. 4, p. 463, 1979.

BULL, L. J. et al. The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in southeast Spain. **Catena**, v. 38, n. 3, p. 191–209, 1999.

BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2002.

BUSSI, G. et al. Sediment yield model implementation based on check dam infill stratigraphy in a semiarid Mediterranean catchment. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 8, p. 3339–3354, 29 ago. 2013.

CAMARGO, M. G. de. Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 271–378, 2006.

CAMMERAAAT, L. H. A review of two strongly contrasting geomorphological

systems within the context of scale. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27, n. 11, p. 1201–1222, 2002.

CASTILLO, V. M. et al. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). **CATENA**, v. 70, n. 3, p. 416–427, ago. 2007.

CAVALCANTE, A. A. **Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: o Rio Jaguaribe à jusante da Barragem do Castanhão, CE - Brasil**. 2012. Universidade Federal Fluminense - UFF, 2012.

CAVALCANTE, A. A. et al. ESTUDO DAS PASSAGENS MOLHADAS À JUSANTE DA BARRAGEM DO CASTANHÃO-CE E POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NA DINÂMICA FLUVIAL. **Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 10, n. 4, p. 291–297, 2014.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. da. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do rio Jaguaribe-CE-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 39–49, 2012.

CAVALLI, M. et al. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. **Geomorphology**, v. 188, p. 31–41, abr. 2013.

CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. New York: Routledge, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ª Edição ed. São Paulo: Blucher, 1999.

CLEMMENS, A. J. et al. **Water measurement with flumes and weirs**. 4. ed. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 2001.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA (Ed.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3 ed. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93–148.

CONESA-GARCÍA, C.; GARCÍA-LORENZO, R. Effectiveness of check dams in the control of general transitory bed scouring in semiarid catchment areas (South-East Spain). **Water and Environment Journal**, v. 23, n. 1, p. 1–14, mar. 2009.

CORRÊA, A. C. de 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, p. 25–36, 2012.

CORRÊA, A. C. de B.; SOUZA, J. O. P. de; CAVALCANTI, L. C. de S. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. DO C. O. (Ed.). **Degradação dos Solos do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bert, 2014. p. 320.

CPRM, S. G. do B. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado da Paraíba: Diagnóstico do Município de Pombal**. Recife: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005.

DNOCS, D. N. de O. C. as S.-. **Sistema Curema - Mãe d'Água**. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/barragens/curema/curema.htm>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

DUARTE, N. S. **Conectividade no sistema de drenagem do Rio Sana, afluente do Rio Macaé (RJ)**. 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2015.

DUARTE, N. S.; MARÇAL, M. D. S. Conectividade da paisagem na bacia do Rio Sana (RJ): relação entre áreas de captação efetiva e tipos de bloqueios. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 755–766, 1 out. 2017.

FERRIERA, C. A.; SANTOS, E. J. dos. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Jaguaribe SE, Folha SB. 24-Z Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Escala 1:500.000**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2000.

FOLK, R. L.; WARD, W. Brazos River bar: a study in the significance of grainsize parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, p. 3–26, 1957.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. de; SANTOS, D. **Balanço hídrico climatológico para a capacidade de campo de 100mm - Estado da Paraíba**. [s.l: s.n.]

FRYIRS, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30–46, 2013.

FRYIRS, K. A. et al. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. **Catena**, v. 70, n. 1, p. 49–67, 2007a.

FRYIRS, K. A. et al. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. **Geomorphology**, v. 84, n. 3–4, p. 297–316, 2007b.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. 1ª Edition ed. Oxford: Malden: Blackwell Publications, 2005.

GALE, S. J.; HOARE, P. G. **Quaternary Sediments: Petrographic Methods for Study of Ulithified Rocks**. Londres: Bethaven Press, 1991.

GRAF, W. L. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. **Geomorphology**, v. 79, n. 3–4, p. 336–360, 2006.

HARVEY, A. M. Effective timescales of coupling within fluvial systems. **Geomorphology**, v. 44, p. 175–201, 2002.

HECKMANN, T. et al. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. **Earth-Science Reviews**, v. 187, n. August, p. 77–108, 2018.

HECKMANN, T.; SCHWANGHART, W. Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment — Exploring sediment cascades using graph theory. **Geomorphology**, v. 182, p. 89–103, jan. 2013.

HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: A conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v. 56, n. 1–2, p. 79–94, 2003.

HOOKE, J. M. Morphological impacts of flow events of varying magnitude on ephemeral channels in a semiarid region. **Geomorphology**, v. 252, p. 128–143, 2016.

INMET, I. N. de M.-. **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2010**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2018.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C. et al. (Ed.). **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 343.

KANG, J. H.; KAZAMA, S. An ecological assessment of a dammed pool formed by a slit check dam. **International Journal of River Basin Management**, v. 10, n. 4, p. 331–340, dez. 2012.

LEXARTZA-ARTZA, I.; WAINWRIGHT, J. Making connections: Changing sediment sources and sinks in an upland catchment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 36, n. 8, p. 1090–1104, 2011.

LI, E. et al. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 31, n. 7, p. 1791–1803, 27 set. 2017.

LIMA, F. J. de. **Evolução geomorfológica e reconstrução paleoambiental do setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe: um estudo a partir dos depósitos coluviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha**. Recife: Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia., 2015.

LOKUGE, W.; SETUNGE, S.; KARUNASENA, W. **Investigating the performance of floodway in an extreme flood event**. **Frist International Conference on Infrastructure Failures and Consequences**. Melbourne, 2014. .

MAIA, R. P. et al. GEOMORFOLOGIA DO NORDESTE: CONCEPÇÕES CLÁSSICAS E ATUAIS ACERCA DAS SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO NORDESTINAS Abstract In the northeastern Brazil , the relief documents important events of morphotectonic evolution and paleoclimate . Organized around paleos. **Revista de Geografia**, v. especial, n. 1, set, p. 6–19, 2010.

MARCHI, L. et al. Channel control works and sediment connectivity in the European Alps. **Science of The Total Environment**, v. 668, p. 389–399, jun. 2019.

MARIANO, G.; SIAL, A. N. Coexistence and mixing of magmas in the late Precambrian Itaporanga Batholith, State of Paraíba, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 114, p. 101–110, 1990.

MARINHO, A. E. A locação definitiva da barragem do açude de “MãeDágua”, do sistema Alto Piranhas. **Boletim da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS**, v. 12, n. 2 jul/dez, p. 82–88, 1939.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de interação. **Geografia: Universidade de Estadual de Londrina**, v. 17, n. 2, p. 67–87, 2008.

MEDEIROS, V. C. de et al. **Programa Geologia do Brasil - PGB**. Sousa. **Folha SB.24-Z-A. Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Mapa Geológico**. Recife Serviço Geológico do Brasil - CPRM, , 2005. .

MEDEIROS, V. C. de et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Souza SB.24-X-A. Escala 1:250.00 Estados da Paraíba, Riogrande do Norte e Ceará**.

Recife: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2008.

MOURA, E. M. de. **Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves**. Natal: Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária., 2007.

MRWA, W. S.; BG&E, P. L. **Floodway Design Guide** Main Roads Western Australia, , 2006. .

NEAL, I. The potential of sand dam road crossings. **Dams and Reservoirs**, v. 22, n. 3–4, p. 129–143, set. 2012.

NICHOLS, M. H. et al. Semiarid Watershed Response to Low-Tech Porous Rock Check Dams. **Soil Science**, v. 181, n. 7, p. 275–282, jul. 2016.

NICHOLS, M. H.; POLYAKOV, V. O. The impacts of porous rock check dams on a semiarid alluvial fan. **Science of The Total Environment**, v. 664, p. 576–582, maio 2019.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. de L.; SANTOS, C. A. C. dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171–180, jun. 2015.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, v. 63, p. 6–26, 2016.

PARSONS, A. J. et al. Introduction to special issue on connectivity in water and sediment dynamics. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 9, p. 1275–1277, 2015.

PEJRUP, M. The Triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, D. D. (Ed.). **Tide-Influence Sedimentary Environments and Facies**. Dordrecht: Reidel, 1988. p. 289–300.

POLYAKOV, V. O. et al. Effect of check dams on runoff, sediment yield, and retention on small semiarid watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 69, n. 5, p. 414–421, 1 set. 2014.

REMAÎTRE, A. et al. Influence of check dams on debris-flow run-out intensity. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 8, n. 6, p. 1403–1416, 12 dez. 2008.

RENGANAYAKI, S. P.; ELANGO, L. A review on managed aquifer recharge by check dams a case study near chennai, India. **IJRET**, v. 2, n. 4, p. 416–423, 2013.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151–158, 1954.

SOUZA, J. O. P. de. **SISTEMA FLUVIAL E AÇUDAGEM NO SEMI-ÁRIDO, RELAÇÃO ENTRE A CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO, NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO SACO, SERRA TALHADA, PERNAMBUCO**. Recife: Universidade Federal de

Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado), 2011.

SOUZA, J. O. P. de. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 224–233, 2013.

SOUZA, J. O. P. de. **Modelos de Evolução da Dinâmica Fluvial em Ambiente Semiárido - Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco**. [s.l.: s.n.]

SOUZA, J. O. P. de; ALMEIDA, J. D. M. de; CORREA, A. C. de B. Caracterização e espacialização da precipitação em bacia hidrográfica com relevo complexo: Sertão Central Pernambucano - Bacia do Riacho do Saco. **Revista de Geografia**2, v. 32, n. 2, p. 106–126, 2015.

SOUZA, J. O. P. de; CORREA, A. C. de B. CONECTIVIDADE E ÁREA DE CAPTAÇÃO EFETIVA DE UM SISTEMA FLUVIAL SEMIÁRIDO: BACIA DO RIACHO MULUNGU, BELÉM DE SÃO FRANCISCO-PE. **Sociedade e Natureza**, v. 2, n. 24, p. 319–332, 2012.

SOUZA, J. O. P.; CORREA, 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, 2016.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Blücher, 2003.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, v. VIII, n. 1, p. 104, 1955.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. How should we measure landscape connectivity. **Landscape Ecology**, v. 15, p. 633–641, 2000.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade : ABRH, 1997. p. 943.

TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BRAZIER, R. E. A conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: ecohydrological interactions across multiple-space and time scales. **Ecohydrology**, v. 1, p. 23–34, 2008.

VAEZI, A. R. et al. Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. **CATENA**, v. 157, p. 227–240, out. 2017.

VANOTE, R. L. et al. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130–137, 1980.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **GEOGRAFIA - Rio Claro**, v. 28, n. 3, p. 323–344, 2003.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Semi-árido. v. 8, p. 7–17, 2003.

WAINWRIGHT, J. et al. Linking environmental régimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. **Geomorphology**, v. 126, n. 3–4, p. 387–404, 2011.

WALLING, D. E. The Sediment Delivery Problem. **Journal of Hydrology**, v. 65, p. 209–237, 1983.



WHARTON, G. Book Review: Geomorphology and river management: applications of the river styles framework. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 1, p. 134–135, 2006.

WILCOX, B. P. Ecohydrology Bearing - Invited Commentary Transformation ecosystem change and ecohydrology: ushering in a new era for watershed management. **Ecohydrology**, v. 130, n. February, p. 126–130, 2010.

WOHL, E. Connectivity in rivers. **Progress in Physical Geography**, v. 41, n. 3, p. 345–362, 2017.

WOHL, E.; MAGILLIGAN, F. J.; RATHBURN, S. L. Introduction to the special issue: Connectivity in Geomorphology. **Geomorphology**, v. 277, p. 1–5, 2017.

ZEHTABIYAN, G. et al. Assessment of the efficiency of check dams in the control of stream suspended load (case study: Marmeh Watershed in Southern Iran). **Journal of enviromental Hydrology**, v. 19, n. 3, p. 1–10, 2011.