



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIENCIA EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE LATERAL EM AMBIENTES
FLUVIAIS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Camilla Jessica da Silva Santos

**João Pessoa - PB
Junho de 2016**

Camilla Jessica da Silva Santos

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.

ORIENTADOR: Prof. Dr^a. Jonas Souza

**João Pessoa - PB
Junho de 2016**

Catálogo na publicação
Universidade Federal da Paraíba
Biblioteca Setorial do CCEN
Bibliotecária Josélia M. O. Silva – CRB15/113

S237 Santos, Camilla Jerssica da Silva.
Análise da estabilidade lateral em ambientes fluviais do Semiárido
paraibano / Camilla Jerssica da Silva Santos. – João Pessoa, PB, 2016.
59p. : il.

Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba.
Orientador: Prof. Dr. Jonas Souza.

1. Regimes fluviais. 2. Estabilidade lateral das margens fluviais.
3. Semiárido paraibano. I. Título.

BS-CCEN

CDU 556.5358(043.2)

Camila Jéssica da Silva Santos

**Análise da Estabilidade Lateral em Ambientes Fluviais do Semiárido
Paraibano**

Monografia apresentada como cumprimento às
exigências para obtenção do título de bacharel em
Geografia pela Universidade Federal da Paraíba.

EXAMINADORES



Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza (orientador)
Departamento de Geociência da UFPB



Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Correa
Geografia - UFPE



Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Departamento de Geociência da UFPB

João Pessoa_PB
Junho, 2016

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pois nenhum obstáculo é grande demais quando confiamos nele.

Agradeço a minha família, que sempre será minha base em tudo, sempre serei grata pelos os ensinamentos, e dedicação e carinhos de todos vocês. Mas aos meus pais, José e Cleide por ter criando eu e meus irmãos, em mesmo com todas as dificuldades nunca faltou amor, educação, e dedicação, sempre colocando nos três em primeiro lugar, eu sou infinitamente grata. Em especial tenho que agradecer duas vezes minha mãe e minha tia Auxiliadora, por não terem desistido de mim, por não deixa de confiar em mim e principalmente me apoiar no primeiro de ano de graduação, no momento no qual mais precisei de vocês.

Agradeço minhas queridas amigas de infância Gabriele e Ana Beatriz, que sempre estiveram ao meu lado deste quando estudávamos no jardim de infância, e mesmo não sendo muito fã da escolha da minha carreira profissional, sempre estão me apoiando em todos os momentos, em vocês eu encontro aquele amor de irmã que não tive.

Agradeço a todos os professores que compõem o Departamento de Geografia da UFPB, no qual também são responsável pela minha formação acadêmica, Max Furrier, Ana Madruga, Eduardo Viana, Maria Franco, Emilia Moreira, Richarde Marques, Pedro Vianna, Antônio Gomes, Marcelo Moura, Sinval Almeida, Marco Mitidiero, Magno Erasto, Araci Farias, Utaiguara Borges, Bartolomeu Souza, Doralice Sátyro, Christianne Moura, Fátima Rodrigues, José Paulo.

Mas em especial tenho que agradecer ao meu orientador Prof. Dr Jonas Souza por ter me dado a oportunidade de participar do grupo de Estudo, por sempre acreditar em mim, ate mesmo quando eu não acredito, pela dedicação e confiança, paciência e principalmente a amizade.

Ao professor Henrique Guitierres por ter me dando a oportunidade e a sua confiança de podemos trabalhamos juntos durante o Projeto de Iniciação a Científica.

Agradeço ao Instituto Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba, pela oportunidade de aprendizado durante esses dois anos de estágio, mas em especial agradeço ao adjunto José Jakson Amancio e Janayna Carvalho e aos meus colegas de trabalho pelo o apoio, compressão e amizade.

Agradeço a todos meus colegas de turma 2012.1(Mariá, Camila, Cecilia, Perilo e Jeane), pela convivência e amizade, e ao meu colega José Carlos, por ser uma pessoa humilde e sempre disposta à ajuda o outro. Muito obrigada pela força!

Agradeço a Rachel Maia, minha colega de turma que durante graduação tornou-se minha amiga, sempre me aconselhando e apoiando nos momentos mais difíceis e felizes da graduação. Muito obrigada!

Agradeço a todos do Grupo de Estudo em Ambientes Fluviais do Semiárido, pelo despenho e dedicação nos trabalhos de campos, principalmente a Diego Monteiro, Adonai Lima e a Helder Oliveira pelo o apoio nessa final do trabalho, e agradeço também em especial a Stephanie Lima, pela imensa força, paciência e dedicação nos teste de consistência em campo, é também pela preocupação e amizade.

Por fim, a todas as pessoas que ajudaram de alguma forma para elaboração deste trabalho e aos demais amigos do departamento da Geociência da UFPB.

RESUMO

Em um sistema ambiental os elementos físicos que compõem a paisagem estão inter-relacionados como um todo organizado, do modo que a organização está ligada a estabilidade do sistema, contudo essa estabilidade não deve ser entendida como um estado no qual o sistema permanece estático, e sim deve ser vista como algo relativo e dinâmico, onde o sistema está em constante renovação e transformação, como é o caso dos sistemas fluviais. Como os processos de alterações laterais das margens fluvial, estão entre os processos mais recorrentes nas paisagens fluviais e o entendimento do seu mecanismo de atuação é fundamental para a explicação da evolução dos diversos elementos da dinâmica fluvial. Para ambiente semiárido, que tem predominância de rios intermitentes, os processos de modificações laterais podem ser tão intensos quanto em áreas úmidas, sendo necessária maior atenção devido às questões de modificação e intervenções que diretamente vão influenciar a estabilidade fluvial. Assim, a pesquisa procurou analisar a estabilidade lateral em ambientes fluviais semiáridos, nos canais da bacia do Riacho do Tigre, localizado no Cariri Paraibano, tendo como foco principal analisar a capacidade de ajuste lateral e sua relação com a energia do fluxo, que através da identificação da composição do material das margens por meio de teste de textura e consistência, e análise da cobertura vegetal, como também analise da distribuição da energia, e assim dos oitos trechos fluviais analisados, quatro foram identificados como instáveis, dois como estáveis e os outros dois com estabilidade intermediária.

Palavras-Chave: Estabilidade lateral; semiárido; resistência.

ABSTRACT

In an environmental system the physical elements that compound the landscape are interrelated as an organized whole, so that its organization is connected to the system stability, however its stability should not be understood as a state in which the system remains static, but should be seen as something relative and dynamic, where the system is constantly renovating and transforming, such as the fluvial systems. As the processes of lateral changes in river banks, are among the most recurrent processes in fluvial landscapes and the understanding of its mechanism of action is essential to the explanation of the evolution of the various elements of fluvial dynamics. For a semiarid environment, which has predominance of intermittent rivers, the lateral modification processes can be as intense as in humid areas, being necessary greater attention due to modification issues and interventions that will directly affect river stability. So, the research searched to analyze the lateral stability in semiarid fluvial environments, in the channels of Riacho do Tigre basin, located in the Cariri Paraibano, focusing mainly on analyzing the lateral adjustability and its relation with the energy flow, which through identification of the material composition of banks through texture and consistency test, and analysis of vegetation, as well as analysis of the energy distribution, and so from the analyzed eight river stretches, four were identified as unstable, two as stable and the other two with intermediary stability.

Keywords: Lateral Stability; Semiarid; Resistance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil longitudinal do modelo ideal da Bacia Hidrográfica.....	19
Figura 2: Mapa de localização da Bacia Riacho do Tigre-PB.....	27
Figura 3: Modelo digital de elevação (MDE) para Bacia do Riacho do Tigre - PB	28
Figura 4: Fluxograma para Identificação Textura.....	30
Figura 5: Mapa de localização dos trechos analisados, e perfis longitudinais dos canais principais da bacia.	37
Figura 6: Mapa de uso / cobertura e resistência - Trecho 7.....	39
Figura 7: Mapa de uso /cobertura e resistência - Trecho 8.....	40
Figura 8: Mapa de uso /cobertura e resistência - Trecho 1.....	42
Figura 9: Mapa de uso/cobertura e resistência - Trecho 2.....	43
Figura 10: Mapa de uso / cobertura e resistência - Trecho 3.....	45
Figura 11: Mapa de uso / cobertura e resistência - Trecho 5.....	46
Figura 12: Mapa de uso / cobertura e resistência - Trecho 4.....	48
Figura 13: Mapa de Uso / cobertura e resistência - Trecho 6.....	49
Figura 14: Mapa de resistência da Bacia Riacho do Tigre-PB.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações da cobertura e textura das margens.....	33
Tabela 2: Informações Hidrológicas dos trechos analisados.....	52
Tabela 3: Relação da energia do fluxo com a resistência.....	53

LISTA DE SIGLAS

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

ANA – Agência Nacional de Águas

ASTER GDEM – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
Global Digital Elevation Model*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE – Modelo Digital de Elevação

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SWAT – *Soil and Water Assessment Tool*

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo Geral.....	13
	Objetivo Específico.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Sistemas Ambientais.....	14
2.2	Ambientes Fluviais do Semiárido.....	16
2.3	Estabilidade Lateral	21
2.4	Modificação no Ambiente Fluvial	24
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4	METODOLOGIA.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1	Análise dos Trechos Fluvial de Alta Resistência Lateral	38
5.2	Análise dos Trechos Fluvial de Resistência Lateral Intermediária.....	40
5.3	Análise dos Trechos Fluvial de Baixa Resistência Lateral.....	47
5.4	Energia do fluxo e estabilidade Lateral	51
6	CONSIDERAÇÕES	54
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema físico e dinâmico, configurando-se como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social. Em função de suas características naturais, têm-se tornado a delimitação mais adequada para o gerenciamento do uso e conservação dos recursos naturais. Contudo, a gestão de recursos hídricos comuns nas políticas públicas, normalmente, tem como foco principal, e as vezes exclusivo, para as questões relacionada a disponibilidade da água, excluindo elementos que controlam a dinâmica e estabilidade da bacia hidrográfica (COELHO NETO, 1998; CAVALCANTE e CUNHA, 2011), como por exemplo a estabilidade da estrutura fluvial, como leito e margens.

Em um sistema ambiental os elementos físicos que compõem a paisagem estão inter-relacionados como um todo organizado, do modo que a organização está ligada a estabilidade do sistema, contudo essa estabilidade não deve ser entendida como um estado no qual o sistema permanece estático, e sim dever ser vista como algo relativo e dinâmico, onde o sistema está em constante renovação e transformação, como é o caso dos sistemas fluviais (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004).

Como os processos de alterações laterais das margens fluvial, estão entre os processos mais recorrentes nas paisagens fluviais e o entendimento do seu mecanismo de atuação é fundamental para a explicação da evolução dos diversos elementos da dinâmica fluvial. Para Hooke (1984), a evolução da migração marginal acontece em curto período de tempo, comparativamente a muitos outros processos geomorfológicos, mostrando assim a importância de conhecimentos sobre a estabilidade lateral dos canais, a fim de possibilitar planejamento adequado no que concerne ao uso e ocupação das margens. O fenômeno de alargamento e migração dos canais fluviais é facilitado e acompanhado da erosão marginal, no qual é um processo que ocorre naturalmente em todos os cursos de água. Este processo resulta do dinamismo natural que caracteriza todos os rios, traduzindo-se numa constante adaptação do rio, e numa busca incessante por novos estados de equilíbrio.

Assim, o conhecimento dos fatores que influenciam e propiciam o modo como se desenvolve a erosão das margens num determinado de rio é essencial para se conseguir compreender de forma conveniente a problemática da estabilidade lateral. Entre os fatores que influenciam na estabilidade lateral do canal há aqueles de propriedade mecânica, como a

textura e a coesividade do material formador das margens. A coesividade dos sedimentos é proporcional ao teor de argila e desta forma quanto mais argilosa a margem, maior resistência ela oferece aos processos de remoção. Outra variável, que contribui para o aumento da resistência à erosão, é a cobertura vegetal da margem e a densidade e profundidade de raízes existentes nas margens (NANSON E HICKIN,1986).

Desse modo, estes processos físicos e elementos que controlam a erosão fluvial são essenciais para a manutenção do equilíbrio canal, tendo sido abordados em diversos estudos, como Wolman, 1959; Knighton,1973; ou Hooke, 1979. Porém ao avaliar a literatura para ambientes do semiárido há pouca produção, em especial para o Brasil, sobre os processos fluviais que tendem a promover a dinâmica e estabilidade das margens. Para áreas semiáridas, que tem predominância de rios intermitentes, os processos de transformações, modificações laterais e erosão das margens podem ser tão intensos quanto em áreas úmidas, sendo necessária maior atenção devido às questões de modificação e intervenções que diretamente vão influenciar a estabilidade fluvial.

E a partir dessa problemática levantada, este trabalho se justifica pela necessidade de melhor entendimento dos elementos e da dinâmica da estabilidade das margens fluviais em ambientes semiáridos. Assim o presente trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade lateral da área a ser estudada, visando disponibilizar informações, para subsidiar o planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa procurou analisar a estabilidade lateral em ambientes fluviais semiáridos, nos canais da bacia do Riacho do Tigre, localizado no Cariri Paraibano, tendo como foco principal analisar a capacidade de ajuste lateral e sua relação com a energia dos canais da bacia.

Objetivo Específico

- Identificar trechos fluviais que apresentem características físicas distintas;
- Identificar e caracterizar a composição do material das margens dos canais fluviais;
- Identificar e mapear o uso e cobertura da terra nos trechos escolhidos;
- Analisar a distribuição da energia potencial dos trechos;
- Mapear a resistência para cada trecho representativo da bacia e analisar a estabilidade lateral para cada trecho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica do presente trabalho visou construir um arcabouço conceitual básico para que seja possível compreender a problemática trabalhada, com ênfase na análise da estabilidade e modificações em ambientes fluviais. Esclarecendo, entre outras coisas, alguns conceitos e métodos utilizados nessa pesquisa. Desta forma, a fundamentação esta organizada no presente capítulo e contemplam os seguintes tópicos: sistemas ambientais; ambientes fluviais semiáridos; estabilidade e modificação fluvial.

2.1 Sistemas Ambientais

A teoria geral dos sistemas, que emergiu a partir da década de 50 posta pelo biólogo Bertalanffy, defende que os campos de conhecimento científicos, não podem ser vistos isoladamente, mas sim estudada de uma maneira sistêmica global, envolvendo todas suas partes interdependentes. É a representação da organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza (clima, topografia, geologia, águas, vegetação, animais, solos). Christofolletti coloca que, um sistema pode ser definido como um conjunto dos elementos e relações entre si e seus atributos e seguindo este pensamento, os sistemas ambientais físicos possuem uma expressão espacial na superfície terrestre, funcionando por meio da interação de área dos fluxos de matéria e energia entre os seus componentes (CHRISTOFOLETTI, 1980; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Ferdinand Saussure contribui para esse entendimento, ao defender que o conceito de organização é indissociável da ideia de totalidade e de inter-relações presentes no sistema deste modo colocados o sistema como “uma totalidade organizada, feita de elementos solidários que só podem definir-se uns em relação aos outros em função do lugar que ocupam nesta totalidade” (MORIN,1977,p.99). Desse modo, a perspectiva sistêmica mostra o sistema como um todo organizado composto por elementos que se inter-relacionam ganhando sentido. Essa interação entre os elementos não forma um sistema se não forem aptos a criar algo que funcione como um todo integrado, ou seja, não é possível compreender esse todo se não for entendido quais são suas partes e como elas se inter-relacionam. Esta concepção sugere que o todo é maior que a somatório de seus elementos e não pode ser entendido individualmente, pois as partes que compõe o todo apresentam características específicas, bem como, inter-relações com os outros elementos (CHRISTOFOLETTI, 1999; HAIG,1985).

Mutuamente, a organização está ligada a estabilidade do sistema, pois o padrão de organização gera estabilidade, como também a estabilidade mantém a organização. Nesta perspectiva, a estabilidade indica a capacidade do sistema, mesmo quando submetido a distúrbios, manter seu padrão global de organização, seja no mesmo estado em que se encontra antes da perturbação ou em um novo estado, sendo assim, significa que a manutenção da identidade do sistema é dada pelo seu padrão de organização. No entanto, a estabilidade não deve ser entendida como um estado no qual o sistema permanece estático, imóvel; e sim como uma estabilidade relativa e dinâmica, nesse estado, o sistema está em constante renovação e transformação. Assim, a noção de estabilidade apresenta dois aspectos; o primeiro refere-se à resistência, que é capacidade de o sistema permanecer sem ser afetado pelos distúrbios externos e o segundo é a resiliência, que é a capacidade de um sistema em retornar às suas condições originais após ser modificado pela ação de distúrbios externos (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004; MORIN, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Também há de se observar que as relações entre os elementos não devem ser analisadas de forma linear, uma vez que existem mecanismos de retroalimentação (SOUZA 2011; AMORIM, 2012). Sendo a retroalimentação negativa a mais comum, garante uma minimização dos efeitos da mudança original provocados por uma alteração externa; enquanto que a retroalimentação positiva leva a ampliação desses efeitos, ou seja, reforça o impulso externo de mudança, não levando o sistema a estabilidade, ocasionado uma ação de “bola de neve” podendo, até, fazer o sistema perder completamente sua funcionalidade. Um exemplo claro de retroalimentação positiva é o processo de desertificação, onde os processos de degradação se retroalimentam levando o sistema a níveis maiores de degradação (CHRISTOFOLETTI, 1980; MATTOS; PEREZ FILHO, 2004; SOUZA, 2013).

Assim como Christofolletti, traz à ideia de resiliência dos sistemas, Sanchez (2008) coloca a resiliência como o grau, maneira e ritmo de restauração da estrutura e funções iniciais de um sistema após uma perturbação imposta por um agente externo (ação humana ou processo natural). Desse modo, um sistema que esteja exposto ao processo de retroalimentação negativa apresenta capacidade de adaptação às perturbações e de voltar a um novo estágio de equilíbrio dinâmico, ou seja, o estágio no qual os elementos que o compõe estão organizados e ajustados às características ambientais vigentes. Avaliando os sistemas fluviais, Fisrwg (1998) coloca que eles funcionam dentro de limites naturais de fluxo, movimento de sedimento, temperatura e outras variáveis, no que é denominado de equilíbrio dinâmico. Quando mudanças nestas variáveis vão além dos seus limites naturais, o equilíbrio dinâmico pode ser perdido, frequentemente, resultando em ajustes que poderão conflitar com

as necessidades da sociedade. Em algumas circunstâncias, um novo equilíbrio dinâmico poderá, eventualmente, desenvolver, mas o prazo no qual isto acontecerá pode ser prolongado, e as mudanças necessárias para alcançar este novo equilíbrio (SILVA, 2010).

Para o estudo desses sistemas ambientais é necessário entender a importância da escala, pois, os sistemas complexos apresentam uma diversidade de elementos, encadeamentos, interações, fluxos e retroalimentação compondo uma entidade complexa e organizada. Assim possuem um grande número de subsistemas e elementos/interações, sendo responsabilidade do pesquisador escolher a escala e os elementos/interações na sua análise. Conforme a escala que se deseja analisar, deve-se ter em vista que cada sistema passa a ser um subsistema (ou elemento) quando se procura analisar o fenômeno em escala mais detalhada, é fundamental escolher um recorte espacial para os estudos ambientais que se enquadre na perspectiva sistêmica, e com isso realizar uma análise integrada, onde a delimitação do sistema é necessária para que se possa analisar a estrutura e comportamento do mesmo (SOUZA, 2013; CHRISTOFOLETTI, 1980). Desse modo, Christofolletti, (1999) coloca que para o estudo dos ambientes fluviais, o recorte espacial é essencial, pois é necessária para que se possa realizar uma análise integrada da estrutura e comportamento do mesmo; e que a bacia hidrográfica.

2.2 Ambientes Fluviais do Semiárido

Para o estudo dos ambientes fluviais é fundamental focar na abordagem sistêmica, realizando uma integração dos diferentes elementos em estudos sobre o ambiente fluvial. Deve-se avaliar os processos e a estrutura do sistema, levando em consideração tanto os elementos externos à rede de drenagem, quanto os elementos presentes na rede de drenagem, além da dinâmica, como os processos sedimentológicos e modificações nos elementos e processos, sendo que o conhecimento das características e dinâmica dos ambientes fluviais é importante para a gestão dos recursos hídricos (BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979, SOUZA,2013).

A bacia hidrográfica, colocada por Coelho Netto (1998), serve como recorte espacial, e ela pode ser entendida, como um sistema aberto, que recebe energia por atuação dos agentes climáticos e tectônicos, e perde através da saída de água, sedimento e nutrientes. Contudo é necessário reforçar que a bacia hidrográfica não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes, quando analisando separadamente não é possível

compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa.

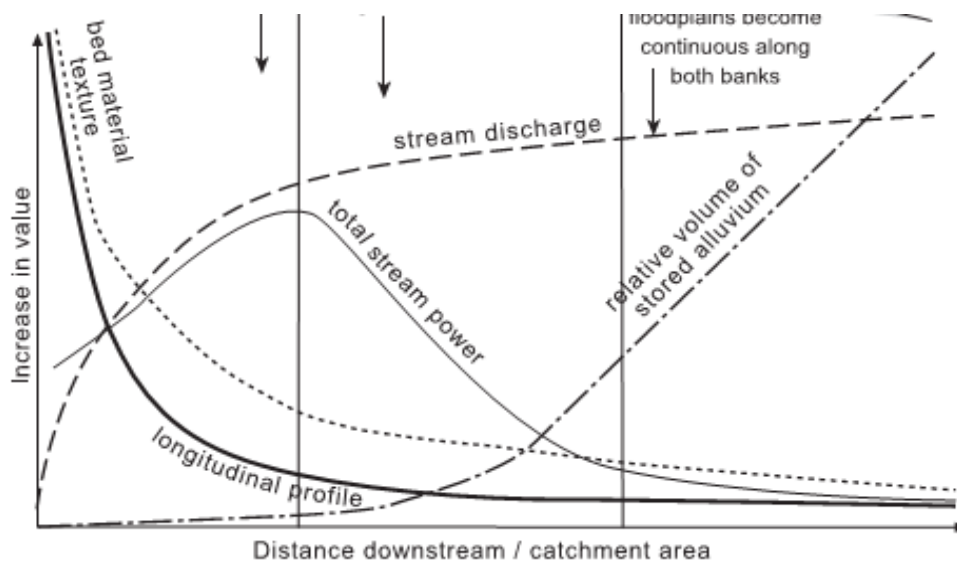
A bacia hidrográfica vista como uma unidade organizada complexa é formada por subsistemas, cujas interações resultam a organização do sistema como um todo integrado. A delimitação desses subsistemas varia em função dos objetivos de cada estudo, sob uma perspectiva processual, a bacia pode ser, por exemplo, subdividida nas zonas de produção, transferência e deposição. Tanto na análise dos processos, quanto em relação à estrutura existem dois componentes fundamentais para estruturação do sistema fluvial, que é o fluxo e o material sedimentar. (CHRISTOFOLETTI,1979). E nesta perceptiva, Schumm, (1977), coloca a ideia dos domínios processuais dentro de um modelo ideal da bacia hidrográfica, para possibilidade de compreender as inter-relações dos elementos separado. Como também compreender o comportamento dos rios, o aporte de água e material sedimentar em cada uma das áreas processuais, e a quantidade e tipo de sedimento disponível nessas áreas, além de se entender quais são os controles climáticos e geológicos e como eles afetam a dinâmica fluvial, qual o uso do solo e cobertura vegetal e sua relação com as zonas do sistema fluvial, etc. Nesse perspectiva, há o conceito de sistema fluvial, que é entendido como a zona fonte de sedimentos, rede de transporte e os sítios de deposição (COELHO NETTO, 1998; CORREA e SOUZA, 2012).

Schumm, (1977) para explicitar estes processos no sistema fluvial, faz uma divisão que chama de zonas 1,2 e 3, numa direção à jusante. A zona 1 (área de origem) é a área da qual a maior parte dos sedimentos são derivados, onde se caracteriza por ser áreas mais altas de cabeceira de drenagem com uma produção de material, ou seja, são áreas em que o foco maior vai ser na produção de sedimento, sendo assim também são áreas em que a erosão vai predominar. A zona 2 é a área de transferência, que se caracteriza na parte intermediária da bacia hidrográfica tendo predominância no transporte de sedimento, ou seja, vai ocorrer o processo de erosão e sedimentação, mas foco maior é na transmissão de sedimento e água, assim em um canal estável a entrada de sedimentos pode ser igual à saída. Por fim, a zona 3 que são as áreas de acumulação, são áreas do baixo curso da bacia, que apresenta predominância no processo de retenção de sedimentos. Desse modo, apesar de ser uma divisão idealizada, pois, obviamente, os sedimentos são armazenados e transportados em todas as zonas; porém em cada zona há um processo dominante, e desse modo é conveniente pensar na zona 1 com a predominância na produção de sedimentos, a Zona 2 com predominância de transferência ou transporte, e a Zona 3 com predominância de processo deposicional.

Seguindo esse pensamento, os processos de erosão, transporte e deposição do sistema fluvial variam no decorrer do tempo e, espacialmente, são interdependentes, resultando não apenas das mudanças do fluxo, como também da carga sedimentar existente. Assim, dentro do modelo ideal da bacia hidrográfica, deste da cabeceira que apresenta uma maior gradiente até a foz, a carga sedimentar no rio aumenta, superando a capacidade de transporte e assim depositando no rio, ou seja, as cabeceiras vão ter pouco sedimento devido fluxo ter um poder erosivo, à medida que segue o rio o gradiente vai diminuindo o fluxo se estabiliza se adequado para a quantidade de sedimento, e por fim já próximo à foz nas áreas que o gradiente é baixo vai ocorrer um acúmulo de sedimento, pois apresenta uma baixa energia do fluxo, e um baixo poder transporte. Portanto, quando se faz uma análise geral de uma bacia hidrográfica, não se podem considerar os processos (erosão transporte e deposição) separadamente, além de outros elementos que interferem na dinâmica e funcionamento desse sistema (COELHO NETO, 1998).

Um dos elementos que interferem na dinâmica e processos do sistema fluvial é energia do fluxo, onde Fryirs e Brierley, (2013) colocam que dentro do canal a energia do fluxo é medida como a massa de água que entra no rio a certa altura acima de um determinado nível de base, e como a água se move a jusante, a energia potencial é convertida em energia cinética. E dentro da ideia do modelo ideal da bacia hidrográfica, está energia tendem a se diferenciar, pois o gradiente é um dos principais determinantes da força de fluxo, em conjunto com o volume de descarga, e da energia avaliada para o transporte de sedimentos, e assim alcançar uma configuração diferente para os processos de erosão e deposição. Como no caso das zonas de acumulação, que apesar de apresentar condições de descarga mais elevadas do que à montante, apresentam uma menor inclinação e um maior volume de sedimentos e, assim, nessas áreas o canal tem uma maior capacidade de consumir sua própria energia, não tendo capacidade de remover toda a carga sedimentar. Isso está relacionado também com a competência, pois fluxo só consegue transportar os grãos maiores quando apresenta alta energia, sendo assim, o fluxo é mais suave, onde os materiais sedimentares vão ser de granulação mais finas, ou seja, são materiais retrabalhados. Em outros pontos o rio poder ter mais energia do que o necessário para o transporte de sua carga sedimentar, gerando um excedente de energia, o qual pode gerar ajustes sob a forma de erosão, no caso que se tem um déficit de energia o ajuste seria na forma de deposição. Com isso a energia do fluxo dentro do sistema fluvial está relacionada às diferentes formas e zonas processuais, mas a busca de equilíbrio é sustentada por toda parte.

Figura 1: Perfil longitudinal do modelo ideal da bacia hidrográfica.



Fonte: (adaptado de BRIERLEY, FRYIRS , 2005). Longitudinal profile: perfil longitudinal; stream discharge: descarga de corrente; total stream power: potência total de fluxo; bed material texture: textura material do leito; relative volume of stored alluvium: volume relativo de aluvião armazenado.

Então, a figura 01 mostra essas relações de energia do fluxo com o transporte de sedimento dentro do perfil longitudinal da bacia hidrográfica. Assim o gráfico mostra a linha perfil longitudinal da bacia, que nas cabeceiras se apresenta mais íngreme e a declividade vai diminuindo, já a descarga da bacia vai aumentando na medida em que vai se distanciando da cabeceira, ao mesmo modo a textura do material do leito vai diminuindo de tamanho e volume do material estocado vai aumentando como pode ser observado no gráfico. E por fim, a energia total vai estar relacionada com a descarga do rio e o gradiente, e com isso observa-se que a medida que a estocagem de sedimento aumentar, a energia vai diminuir e, desse modo, perder a competência de transportar sedimento com grãos maiores.

Para ambientes fluviais de áreas secas, o input de energia será no momento da precipitação, assim estes ambientes se caracterizam por não apresentarem fluxo de água na maior parte do ano, ou seja, a principal característica hidrográfica do ambiente semiárido é o caráter intermitente dos rios, a descontinuidade dos fluxos. Esta característica está diretamente relacionada com a precipitação da região, onde o fluxo de água superficial desaparece durante os longos períodos de estiagem (GRAF, 1988; BIGARELLA, SUGUIO e BECKER, 1979). Desse modo, os processos em ambientes secos, semiáridos e sub-úmidos, apresentam características processuais diferenciadas em relação aos ambientes úmidos, o que irá resultar em diferentes formas e estrutura no sistema (SOUZA e ALMEIDA, 2015).

Para compreensão dessas formas e estruturas em ambientes secos é necessário entender os eventos de cheias, sendo que a cheia é o evento onde há um aumento do fluxo fora do padrão que submerge áreas que, normalmente, não são inundadas (GRAF, 1988). Desse modo os ambientes fluviais do semiárido estão caracterizados por dois extremos hidrológicos: momentos de cheia e momentos de seca. Estes dois eventos de perturbação hidrológica exercem forte influência na organização e no funcionamento dos rios, visto que o padrão para esses ambientes é quando os canais estão secos, sendo assim quando o canal apresenta fluxo está no evento de cheia, sendo que normalmente as respostas de aumento do fluxo nos momentos de precipitações costumam ser mais rápida do que em regiões úmidas. (MALTCHIK, 2012; GRAF, 1988).

Contudo os eventos de cheias são cruciais ao entendimento das variações do comportamento fluvial, pois é nesses períodos que são realizados o trabalho geomorfológico nesses ambientes fluviais, através do escoamento superficial, que representa a principal contribuição de massa e energia para a rede de drenagem estimulando assim, os processos fluviais. Então os eventos de precipitação, afeta diretamente a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico, incluindo nos ambientes fluviais. Dentro deste contexto, a dinâmica fluvial em áreas semiáridas pode ser tão intensa ou maior quanto em áreas tropicais úmidas, no qual é necessária uma atenção devido às questões de modificação e intervenções nos ambientes fluviais, em especial a modificações estruturais, como escavação do leito, durante os períodos de seca, que irão modificar os processos e dinâmica fluvial (GRAF, 1988; SOUZA e ALMEIDA, 2015; CAVALCANTE e CUNHA, 2012).

Porém para ter o conhecimento da dinâmica fluvial, e preciso de informações de dados fluviométrico, ou seja, precisa de dados da dinâmica hidrológica, como vazão. Contudo, no semiárido brasileiro, principalmente o Nordeste existe um grande déficit de informações de dados fluviométricas, problema este que dificulta a análise integrada do comportamento fluvial.

Nestes casos, uma saída é o uso de modelos hidrológicos e hidrossedimentológicos, sendo uma alternativa bastante explorada para o planejamento e a tomada de decisão relacionada ao gerenciamento de bacias hidrográficas, por possibilitarem a estimativa de vazões, transporte de sedimentos e simulação de cenários sobre o uso do solo e qualidade da água. Tucci (2005), defini esses modelos como a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Sendo assim, a modelagem hidrossedimentológica é um importante instrumento para avaliar a produção de água e de sedimentos em bacias

hidrográficas num tempo e custo acessíveis. Para regiões semiáridas, aplicação destas ferramentas é capaz de fornecer informações confiáveis, quantificando espacialmente dentro da área da bacia a ocorrência dos processos hidrológicos e sedimentológicos, partindo de informações que relacionam a topografia, uso e cobertura, características pedológicas e climáticas (CARVALHO NETO, 2011; ROFFE, 2012).

Entre os diversos modelos hidrossedimentológicos disponíveis, o modelo SWAT (*Soil And Water Assessment Tool*) vem apresentando grande destaque, com seu uso em ampla ascensão em todo o mundo. Trata-se de um modelo distribuído, contínuo e de base física, que foi gerado a partir da necessidade de se prever o efeito de diferentes cenários de manejo da terra na qualidade da água, aporte de sedimentos e cargas de poluentes em uma bacia hidrográfica respeitando suas condições espaciais para um longo período de tempo (NEITSCH, 2005). Este modelo pode utilizar dados provenientes do sensoriamento remoto tais como os Modelos Digitais de Elevação adquiridos por sensores orbitais além de outros mapeamentos como dados de cobertura e tipo de solo. As tecnologias atuais permitem assim, a aquisição de tais dados através de satélites, o que possibilita a execução do modelo em áreas que não possuem estes levantamentos de campo (SILVA, 2015).

Como exemplos de aplicação do SWAT no Brasil, Moro (2005) analisou a produção de sedimentos e o escoamento superficial na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins, estado de São Paulo, com base na aplicação do modelo SWAT levando em consideração as características do uso do solo na área. Já Carvalho Neto (2011) aplicou o modelo SWAT para a bacia experimental de São João do Cariri, localizada no estado da Paraíba, sendo uma bacia semiárida, objetivou analisar a influência das mudanças no uso do solo (através da criação de cenários) e a interferência de açudes no comportamento da produção de sedimentos e do escoamento superficial. Dantas (2016) também avaliou as implicações das modificações no uso do solo sobre os processos hidrossedimentológicos em bacia semiárida.

2.3 Estabilidade Lateral

A organização dos processos fluviais tende à estabilidade, na qual esta estabilidade apresenta condições que não são rígidas, como já colocado, estas variam de acordo com as características endógenas de cada sistema fluvial e dentro do próprio este pode também variar de forma notável. No qual o fator dominante para estabilidade depende das características presentes no sistema (o escoamento, presença de vegetação, o tipo e classe do canal e clima) e

a combinação dos processos fluviais da margem e leito e variabilidade dos materiais, o que irá gerar diferenciações da capacidade de ajustamento na morfologia do canal, contudo a estabilidade lateral do canal vai depender da resistência da capacidade de ajuste e da energia do fluxo, e da composição e disposição do material da margem, como na cobertura e uso das mesmas (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; MAGALHÃES, 2010).

As propriedades dos materiais são um elemento controlador dos processos erosivos nas margens fluviais, podendo apresentar maior ou menor coesão e conseqüentemente maior ou menor resistência intrínseca a erosão, no qual as margens com materiais finos (argilo e silte) tendem a ser coesas por causa das propriedades electroquímicas destes materiais. E as margens menos estáveis, são as do tipo de material mais arenoso, comuns em áreas semiáridas fato que naturalmente contribui para justificar a predominância de canais rasos, as margens rochosas são comuns em áreas que apresentam um controle litológico no ambiente fluvial, normalmente próximas das cabeceiras.

Assim a composição do sedimento, especialmente tamanho do material e de coesão, influencia a papel relativo do processo de migração lateral do canal, ou seja, as margens fluviais são compostas de material de baixa coesão (areia e cascalho), no qual geram diferenças marcantes em processos de erosão e tendem a ter facilidade o canal está migrando lateralmente, já nas margens composta de material resistente como as margens rochas, não apresenta o processo de migração lateral do canal. Brierley & Fryirs (2005) destacam que mudanças na morfologia, largura e declividade do vale influenciam diretamente na forma e comportamento dos rios, limitando a capacidade de ajuste lateral do canal de modo que de potencializar a sua energia, ou a permitir sua dissipação através de meandros (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; SCHUMM, 1987; GRAF, 1988).

Nanson e Hickin (1986) relacionaram o tipo de material do leito do rio com a taxa de erosão lateral, sendo que um rio que apresente margens com material granular de pequenas dimensões e sem coesão, como areias, terá taxas de erosão lateral superiores a um que apresente um leito composto por seixos. Já em relação a margens com maior teor de argila, a resistência advém em grande parte da coesão efetiva que estes possuem.

A cobertura vegetal, especialmente o papel radicular, pode reforçar a resistência das margens, aumentando assim à resistência a erosão. As margens não vegetadas podem ser cinco vezes mais susceptíveis a erosão em comparação com as margens vegetada (POLLEN E SIMON, 2005; FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Pensando no semiárido nordestino, mesmo sendo caducifólia/subcaducifólia, a vegetação da caatinga é capaz de proteger o solo contra

erosão, incluindo a vegetação rasteira no período seco com cobertura morta proporciona um bom nível de proteção do solo (SANTOS, 2000).

Os tipos de vegetação existentes dentro e ao longo do canal, bem como sua distribuição espacial, tamanho e idade aproximada, refletem as condições do regime fluvial e auxiliam na avaliação do balanço de sedimentos e de seu comportamento hidrológico frente aos eventos de cheia. A presença de vegetação amortece a turbulência local gerada pelo fluxo do canal e reduz sua velocidade próxima às margens, atenuando sua pressão e seus efeitos erosivos. Em áreas estáveis, a vegetação apresenta-se desenvolvida e contribui para maior coesão dos materiais da margem, enquanto que em áreas com depósitos mais recentes, esta pode apresentar-se em fase de desenvolvimento, com maior susceptibilidade à remoção (SIQUEIRA, 2013; FRYIRS e BRIERLEY, 2013; MAGALHÃES, 2010), como é o exemplo das barras arenosas.

Deste modo, a composição e a forma de crescimento da cobertura vegetal na margem fluvial vão ser essenciais para uma classificação da resistência da mesma, pois as espécies de vegetação arbóreas/arbustiva densa tende a apresentar uma maior resistência, enquanto que as áreas antropizadas ou com cobertura vegetal degradada tende a ser suscetível a instabilidades laterais. De uma maneira geral a consistência do material sedimentar e a cobertura vegetal no ambiente fluvial, é um dos maiores condicionantes da estabilidade fluvial, pois a presença do material de textura coesa nas margens, e uma cobertura vegetal densa conservada manterão diferentes formas e estrutura de organização do ambiente fluvial. (NANSON E HICKIN, 1986; SIMON, 2005).

Considerando rios no semiárido onde a baixa coesão das margens, uma vez atingido o nível de margens plenas, os processos erosivos podem ser potencializados em questão de dias ou horas, de modo especial em áreas com predomínio de terrenos cristalinos, cujos níveis de água podem ser elevados rapidamente, mediante a intensidade das precipitações. Neste caso, margens desprovidas de vegetação seriam alvos fáceis de desmontes de materiais, provocando de forma rápida, o aumento na largura de canais, e, por conseguinte, o aumento dos processos de assoreamento. Para a sociedade, isso pode implicar de modo direto, no aumento dos riscos de inundações, uma vez que a capacidade dos canais podem experimentar rápidas reduções (FRYIRS e BRIERLEY, 2013; CAVALCANTE e CUNHA, 2011).

A energia do fluxo do canal seria o outro elemento de controle chave para a estabilidade das margens, pois a mudanças dos níveis de fluxo pode refletir a distribuição da energia pelo canal. Ou seja, a energia do fluxo vai estar distribuída pela bacia através da

posição do trecho analisado, de modo que nos pontos de maior fluxo e gradiente no canal ela irá atingir níveis mais altos. A variação da energia na bacia irá refletir os diferentes tipos de materiais depositados, incluindo os depósitos de leito e de margem, e assim influencia estabilidade do canal, assim qualquer ajuste à distribuição do fluxo de sedimentos ou energia que altere o material como, por exemplo, os eventos de extrema vazão podem modificar a estrutura geomorfológica do canal fluvial (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

2.4 Modificação no Ambiente Fluvial

No sistema fluvial é primordial entender como os processos se comportam estando exposto a mudanças nos processos e na estrutura/resistência do sistema. Avaliando, assim, não apenas as respostas dos outputs, mas também mudanças em suas características intrínsecas, na estrutura, mudanças tanto antrópicas quanto naturais. Desse modo, em algumas circunstâncias, as mudanças estão relacionadas não com modificações na dinâmica ambiental, mas sim na estrutura, especialmente nos níveis de resistência a mudanças da paisagem (FRYIRS E BRIERLEY, 2000; FISRWG,1998).

Fryirs e Brieley (2000) ao estabelecer categorias condições fluviais coloca que um rio esta inserindo na estagio de degradado quando se distanciou significativamente de sua condição de “íntacto”, mas não se deu início à sua recuperação. Seus canais estão sempre em um estágio de desequilíbrio, tentando ajustar-se ao distúrbio. Esta condição de íntacto que é colocada é quando o ambiente fluvial esta com suas características comportamentais de pré-distúrbio, ou seja, todas as características geomórficas e atributos estão preservados.

Porém, ao se pensar a degradação fluvial no semiárido brasileiro, em especial nas zonas rurais; onde o quadro climático, que se alterna entre um longo período de estiagem e chuvas concentradas em poucos meses, favorece a caracterização de rios efêmeros com comportamentos razoavelmente conturbados, apresentando naturalmente alterações recorrentes na sua estrutura, comportamento, este, potencializado pelas alterações antrópicas. No ambiente fluvial do semiárido, grande parte das modificações ambiental na bacia hidrográfica, esta relacionada com a construção de barramentos nos rios, a retirada de material do leito e às práticas agrícolas e a pecuária extensiva nas planícies de inundação. (SOUZA e ALMEIDA,2015; PEREIRA, 2014; SILVA, 2014).

Neste cenário as margens fluviais apresentam-se como uma das áreas mais susceptíveis a modificações e impactos ambientais, visto que são áreas que apresenta terras férteis adjacentes, as áreas de planície de inundação potencialmente utilizadas para as

atividades antrópicas impactantes como a agricultura. Assim, a remoção da vegetação ripária, típica das zonas ribeirinhas, acentuará os processos erosivos, possibilidade assim alteração nas estruturas dos canais, e conseqüentemente na dinâmica fluvial (ATTANASIO,2012; PEREIRA, 2012). Bigarella, Suguio e Becker (1979) também tratam da importância do impacto da retirada da vegetação natural, na bacia como um todo, pois, existe uma relação com o balanço de sedimentação dentro do sistema fluvial, pois a ausência da vegetação vai elevar a carga dos sedimentos, e assim resulta erosão dos solos das extensas áreas de agricultura primitiva.

Os barramentos são outra modificação, de presença generalizada, nos ambientes fluviais semiáridos, estando, sem dúvidas, entre os impactos diretos mais significativos nestas áreas. Segundo Graf (1998), elas impõem uma mudança drástica no regime do rio, diminuindo consideravelmente o volume do fluxo, e aprisionando grande parte do sedimento transportado. O fluxo liberado contém baixa carga de sedimentos, deste modo apresenta uma maior capacidade erosiva que resulta em um aumento da erosão a jusante da barragem, tanto no leito quanto nas margens. Coelho (2007) coloca, que a erosão marginal pode ser potencializada pela ação dos fluxos imediatamente a jusante das barragens. Essas elevadas descargas produzem efeitos adversos sobre a vegetação ripária, adaptada a um regime de fluxo sazonal, diminuindo assim sua eficiência para manutenção da comunidade vegetal.

Sendo assim, a composição dos materiais do leito e das margens é importante, pois o ajuste forma do canal tende a ser maior quando a carga de fundo é arenosa, enquanto que, em leitos mistos (areia – cascalho- bloco), a modificação do canal ocorre até que o fluxo perca energia para remover o material do fundo. À medida que o sedimento mais fino é removido, a porção mais resistente do leito é exposta, o que acarreta menor erosão. Quando não há erosão do leito, o canal poderá desenvolver erosão em suas margens e sofrer mudanças em sua largura, a taxa de erosão nas margens será proporcional ao regime de descarga estabelecido e ao tempo em que a margem estará sujeita à ação do fluxo (magnitude e frequência). As margens arenosas apresentam maior susceptibilidade à ação erosiva e, dependendo da oscilação do fluxo, a erosão irá ocorrer na base dos depósitos, formando praias, as quais nem sempre conferem proteção às margens. Em margens compostas (areia – silte - argila), a erosão se desenvolve por colapsos (queda vertical de blocos) provocados pela remoção do sedimento arenoso do pé da margem. As margens coesivas, (argilosas) apresentam maior resistência à erosão e retardam o alargamento do canal, pois sofrem pequenas perdas de material devido à

contração e ao ressecamento ocasionado pelas variações sazonais. (MAGALHÃES, 2010; SIQUEIRA,2013; ANDREWS, 1982)

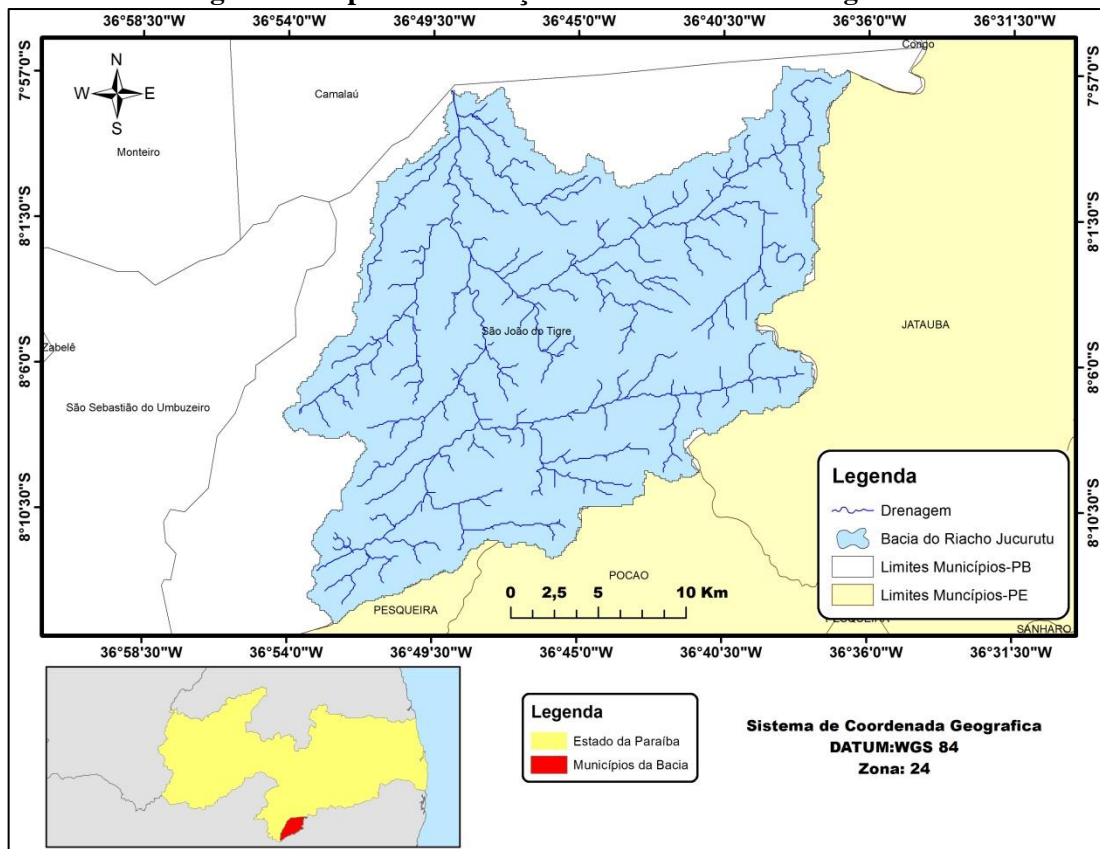
Contudo, os ambientes fluviais têm sido amplamente alterados em razão dos diversos tipos de intervenções como barramentos de cursos d'água, retificação de canais, usos agropecuários em áreas de margens, o que pode levar, em alguns casos, a mudanças drásticas como o desaparecimento de canais. Nas áreas semiáridas a dinâmica fluvial pode ser tão intensa ou maior quanto em áreas tropicais úmidas, o que gera certa preocupação com a questão das intervenções, principalmente àquelas relacionadas ao barramento de cursos d'água (CAVALCANTE e CUNHA, 2011).

Outras modificações de ações antrópicas que apresenta no sistema fluvial do semiárido é principalmente a escavação de cacimbas no leito do canal, e construção de cercas que atravessam o canal, nestas situações podem influenciar na distribuição do fluxo, no qual as variações da direção e velocidade do fluxo na margem erosiva, variações essas, possivelmente, provenientes da alteração da forma do leito causada pela escavação deliberada de cacimbas, com isso um fluxo com energia mais turbulenta, poderá gerar modificações no sistema fluvial (CORREA e SOUZA, 2012).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia fluvial em análise, Bacia do Riacho Jucurutu, apresenta área de 564 km² e está situada na mesorregião da Borborema, Cariri Ocidental Paraibano, encontra-se localizado no município de São João do Tigre-PB, que está incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro (figura 02). O município faz limite com os municípios Paraibano (São Sebastião do Umbuzeiro e Camalaú), e com os municípios do estado de Pernambuco (Poçoão, Pesqueira e Jatauba). E apresenta a maior unidade de conservação do estado, com 36.000 km², Área de Proteção Ambiental das Onças, no qual segundo dados da SUDEMA, a Unidade de Conservação é berço das nascentes dos rios Capibaribe e Paraíba.

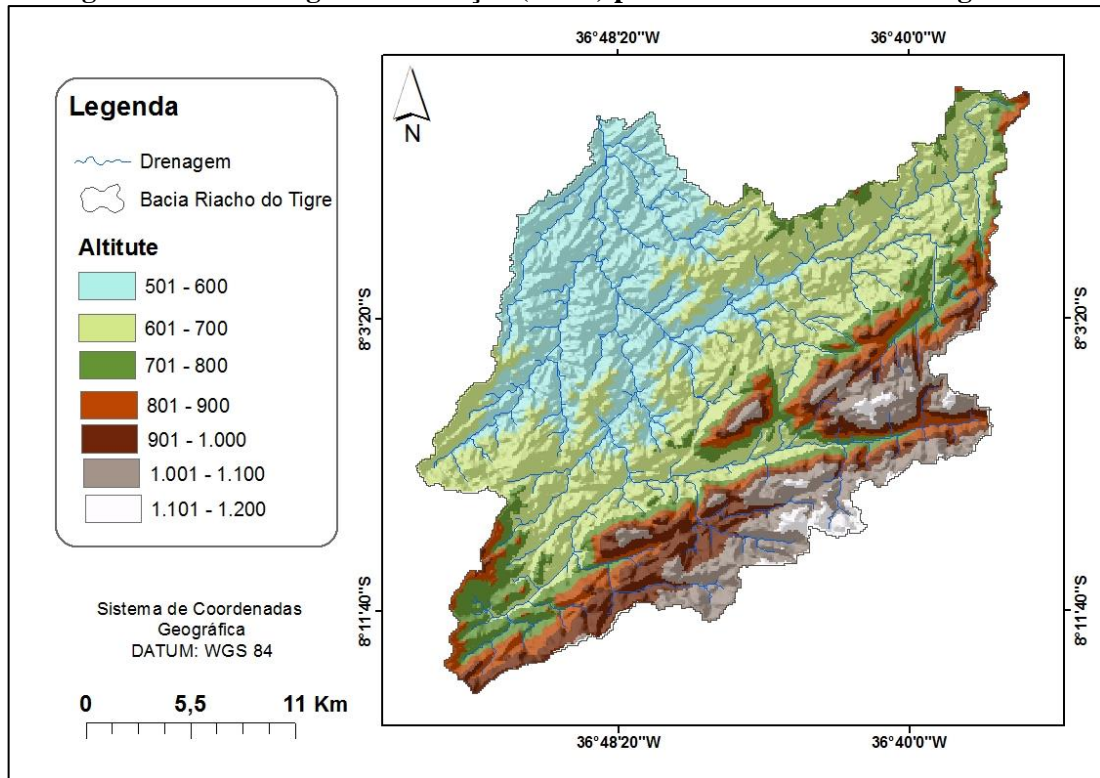
Figura 2: mapa de localização da Bacia Riacho do Tigre-PB



A bacia em estudo está inserida em um arcabouço de fatores físicos e sociais semelhantes à grande parte do semiárido nordestino, sendo representativa em relação as bacias de cabeceiras dos maiores rios do semiárido nordestino. O clima é do tipo o Bsh, quente, semiárido, com temperatura média anual de 28°C. O riacho Jucurutu faz parte da drenagem do rio Paraíba, com variação altimétrica de 500 de metros e sua cota máxima esta logo abaixo dos 1200 na interface da Depressão Sertaneja com as serras altas do lineamento

PE/PB, no qual as serras presentes na área disponibilizam temperaturas mais amenas de acordo com a altitude alcançada (figura 3).

Figura 3: Modelo digital de elevação (MDE) para Bacia do Riacho do Tigre - PB



Como áreas de exceção, marcadas por uma precipitação diferenciada, em função da localização em planaltos e chapadas com altitudes superiores a 600m, onde as chuvas orográficas podem garantir níveis de precipitação muito acima das médias gerais registradas, associadas às temperaturas mais baixas que fazem com que a evapotranspiração seja menos atuante, criando um ambiente mais úmido que o do seu entorno. Se comparados às regiões mais secas do semiárido, os brejos possuem condições favoráveis quanto a umidade do solo e do ar, a temperatura e a cobertura vegetal.

A área possui um relevo suavemente ondulado, com vertentes dissecadas e vales estreitos, inserida entre a unidade geoambiental Planalto da Borborema e Depressão Sertaneja paraibana o que caracteriza mais ainda os elementos naturais semiáridos. (CPRM,2005). Nos aspectos dos elementos geológicos, composição geológica é predominante o granito e variações de granitoides, gnaiss, calcário, mármore, quartzitos, rochas meta vulcânicas. Contudo a bacia de São João do Tigre possui alguns cisalhamentos transcorrentes, tanto de caráter dextral em direção NW-SE, quanto sinistral nas direções NE-SW e N-S, além de falhas.

Em relação aos solos presentes na Bacia Riacho Jucurutu, apresenta unidades de solos de acordo com classificação da EMBRAPA, (2006), os Neossolos Litólicos, Neossolo Regolítico e Luvisolos, que são unidades solo com maior representatividade. Neossolos Litólicos são distribuídos predominantemente em declives fortes de áreas com relevo em constante alteração, configurando o solo raso e com presença de rocha e pedregosidade. Os Neossolos Regolíticos, são formados a partir da alteração de gnaisses e granitos, ocorrem em relevos variando de plano a ondulado. Já os Luvisolos são solos pouco ou mediantemente intemperizados, ricos em bases e com acumulação de argila no horizonte B. São comuns no semiárido nordestino brasileiro, são comuns em área de relevo suave ondulado.

E por fim a cobertura vegetal predominante na bacia é caracterizada basicamente pela Caatinga Hiperxerófila com trecho de floresta Caducifólia, composta de espécies de caatingas que apresenta forma de crescimento arbórea e arbustiva de cobertura fechada e aberta.

4 METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto para este estudo, foram estruturados alguns passos metodológicos, no qual buscou-se três fatores essenciais para a análise da estabilização da margem fluvial: materiais que compõem as margens, vegetação associada e a energia do canal. Assim foram realizadas as seguintes tarefas: identificação de trechos fluviais com características distintas, identificação e mapeamento do uso e cobertura da terra nos trechos analisados; identificação e caracterização do material constituinte das margens fluviais; identificação da distribuição da energia potencial nos canais da bacia; e análise e mapeamento da resistência lateral para cada trecho representativo da bacia.

Com a finalidade de cumprir todas as tarefas metodológicas propostas, foram utilizados como base dados, sempre procurando por tipo de dados com escalas, resolução e características que apresentem um maior detalhamento do estudo, no qual proporcionará uma maior confiança para os resultados almejados. Assim os dados de pedologia, cobertura e uso e ocupação do solo foram fornecidos pela AESA e dados de precipitação pela ANA, assim como imagens de satélite SRTM e ASTER GDEM.

Foram realizados, dois campos exploratórios com objetivo de reconhecimento da área da pesquisa, e três campos para coleta de dados, medições e verificação de informações em gabinete, esclarecimentos das dúvidas geradas na interpretação dos dados e imagens. Contudo para realizar os campos de coleta de dados e informações, foi realizado um mapeamento prévio através de imagem de satélite, para identificar os possíveis trechos fluviais que apresentassem características específicas como cobertura vegetal, a variação da textura dos canais dentro do sistema fluvial, que está diretamente relacionada com a resistência. Deste modo foram visitados e analisando um total de 36 trechos fluviais nos principais canais da bacia, Riacho do Tigre, Cacimbinha e Santa Maria e seus afluentes para avaliação da resistência lateral dos canais, porém desses 36 trechos foram elencados 8 trechos representativo da bacia para analisar a estabilidade lateral.

A identificação da resistência das margens fluvial é um elemento primordial desta pesquisa para poder analisar a estabilidade do canal, desse modo foram considerados dois fatores essenciais para analisar a resistência das margens fluviais: os materiais que compõem as margens e a vegetação associada.

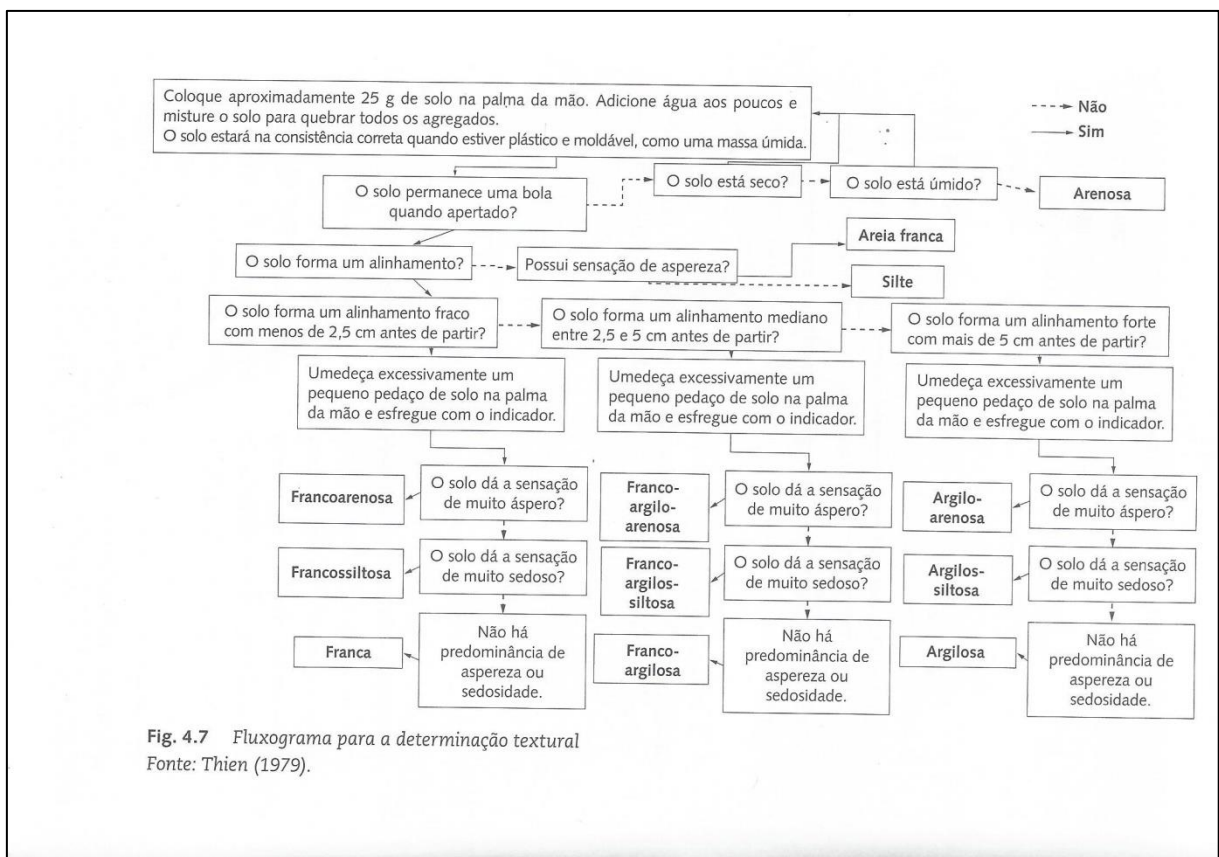
No qual nesta identificação foram realizados em campo os testes de consistência e de textura e análise da vegetação associada. A identificação do material constituinte, se era

rochoso ou sedimentar, e no caso de material sedimentar os testes de consistência em diversos pontos da bacia hidrográfica com base Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007), e a textura das margens foi realizada pela proposta de Thien (1979) (*apud*, CAVALCANTI, 2014), que estabeleceu um diagrama de fluxo para identificação da textura através da análise das sensações.

De maneira geral, a consistência do material sedimentar no ambiente fluvial, é um dos maiores condicionantes da estabilidade fluvial, e são analisados em quatros momentos, com amostra de sedimento seco para analisar a consistência através da dureza, o sedimento úmido que é caracterizado pelo friabilidade, e por fim o sedimento molhado, no qual vai ser analisando a plasticidade e pegajosidade do material.

Já a identificação da textura pelo fluxograma de Thien (1979) é obtida através do umedecimento e modelagem manual de uma amostra de sedimento até formar uma massa homogênea, sem excesso de água (figura 4). Passada entre os dedos polegar e indicador, esta amostra umedecida pode dar a sensação de aspereza, sedosidade (maciez) ou pegajosidade, que são geralmente associadas à presença de areia, silte e argila respectivamente.

Figura 4: Fluxograma para Identificação da Textura.



E com isso foi atribuída classificação para composição do material coletado nas margens dos trechos, no qual as propriedades mecânicas de uma margem estão relacionadas à composição granulométrica. No caso da resistência à erosão, a coesividade é uma variável importante, estando relacionada com a porcentagem de argilas e de silte, porcentagem de matéria orgânica, do grau de consolidação e do tamanho do material granular. Deste modo, a resistência do material virá da combinação das resistências devido à coesão do material fino, do grau de consolidação do material e do tamanho das partículas. A coesividade dos sedimentos é proporcional ao teor de argila e de matéria orgânica, contudo como o manto de intemperismo da região apresenta baixo teor de matéria orgânica, quanto mais argilosa a margem, possivelmente ela será mais resistente aos processos de remoção.

Em um segundo momento foi analisado a cobertura e uso associada às margens fluviais. Identificando as formas de crescimento, cobertura vegetal e a dominância da cobertura a partir da base metodológica de Cavalcanti, 2014, aplicando por meio da visita de campo e também análise das imagens de satélite. As formas de crescimento se caracterizam em três tipos de formas, a herbácea, arbustiva e arbórea. Na forma de crescimento, a planta herbácea não possui lenho (madeira), a arbustiva não possui um tronco principal, ramificando-se a partir da sua base, já na arbórea há a presença de troco principal. Na cobertura vegetal, pode ser identificada a fechada que é quando há interdigitação das copas das árvores ou arbusto, aberta é quando não há uma interdigitação das copas das árvores ou arbusto e a esparsa caso predominem herbáceas e ocorram alguns indivíduos lenhosos isolados em grupos esparsos. E a dominância, são as espécies mais importantes do ponto de vista do funcionamento da paisagem.

A cobertura vegetal da margem, e a quantidade de raízes existentes em função da cobertura contribuem para o aumento da resistência à erosão. Sendo assim, para áreas com presenças de espécie arbóreas/arbustiva densa foram classificadas como alta resistência; para áreas vegetação antropizadas ou solo exposto foram classificadas com baixa resistência e para presença de espécies arbóreas/arbustiva espaçada classificou-se com média. Para a forma da cobertura vegetal também foram atribuído classes de resistência, as espécies densa cobertura foi classificada como alta, já as de cobertura espaçada foi classificada como média, os ambientes fluviais com vegetação escassa ou degradada foi classificada como baixo.

Após a análise desses fatores essenciais para resistência lateral do canal, foram elaborando tabelas com informações da cobertura da vegetação da zona riparia e da textura e

consistência identificadas nas margens, para fazer uma compilação das informações (tabela 01) e assim poder chegar a uma classificação de resistência fluvial, classificando em alta, média e baixa resistência.

Tabela 1: Matriz de resistência das margens em função da cobertura e composição.

	Fechada	Intermediária	Espaçada
Rochosa	Alta	Alta	Alta
Argilo-siltosa	Alta	Alta	Médio
Silte	Médio	Médio	Baixo
Franco	Médio	Médio	Baixo
Franco-argilosa	Médio	Médio	Baixa
Franco-argiloarenosa	Médio	Médio	Baixa
Areia	Médio	Baixa	Baixa

Deste modo, por meio desta base de dados, foi identificada e mapeada a resistência lateral para toda a bacia riacho do Tigre, com auxílio também de imagens de satélite. Já para análise da estabilidade foram elencados 8 trechos representativos dos principais canais da bacia no qual, e analisados a resistência deles com a força de distúrbio.

Assim, a energia do fluxo é um dos fatores que também influencia a estabilidade lateral do canal, a sua distribuição pelo canal está diretamente relacionada à movimentação da água no sistema, e deste modo está diretamente ligada à força desse movimento e volume de água. A identificação da distribuição da energia potencial nos oito trechos fluviais representativos da bacia, teve como base Fryirs e Brierley,(2013), onde o cálculo da distribuição da energia potencial é por meio de uma expressão para a taxa de despesas potencial de energia contra o leito e margens do canal, no qual mede a taxa de trabalho feito pela água que fluir pelo leito e transportar de sedimento e assim reflete o total de energia disponível para fazer o trabalho ao longo de um canal do rio. Desse modo, o Total (ou bruto) de energia de fluxo é medido como o volume de água (descarga Q) multiplicado pela declividade do canal s e o peso específico da água, conforme a Eq.1

$$\Omega = \gamma Qs \quad (1)$$

Onde Ω é a o total da energia do fluxo o Q , é a descarga, ou seja, vazão da bacia; s é o gradiente do canal e γ é valor o específico peso de água, isto é, 9.800 Nm-2).

Porém como a descarga é um dos fatores de análise, a energia total da corrente é variável dependendo da descarga do canal, e dessa forma vão ser avaliadas não apenas pelas médias, mas também para os eventos de vazão extrema. Tendo o total de energia do fluxo é necessário calcular a energia do fluxo específica que consiste no valor da potência de canal dividida pela largura do canal, ou potência do canal específica, representa o trabalho despendido ou a energia gasta pelo canal devido ao regime de fluxo. Deste modo é medido como potência total de fluxo dividida pela largura de fluxo, onde ω é a potência do escoamento específico, Ω é o fluxo total de energia e W é a superfície da água largura em uma descarga específica.

$$\omega = \Omega/w \quad (2)$$

Desse modo, tendo a necessidade de informações da dinâmica hidrosedimentológica da bacia, principalmente da distribuição da vazão para realização do cálculo da energia potencial, foi utilizando o modelo hidrosedimentológico geo-espacial ArcSWAT, utilizando o ArcSWAT que é uma extensão para o ArcGIS. Sendo possível, inclusive, analisar a vazão para cada trecho separadamente, o que aumenta o nível de detalhe da análise.

Como não há dados observados de vazão, não foi realizado a calibração do modelo, sendo utilizados dados de solo, clima, uso terra e declividade, para processamento e assim gerar informações da distribuição da vazão. Mesmo sem a calibração, os dados se mostram imprescindíveis para a análise inicial sobre os possíveis níveis de descarga da bacia. Os dados de solo, precipitação e uso da terra foram disponibilizados pela ANA, os outros dados climáticos necessários, foram os dos parâmetros climáticos (temperatura, precipitação, velocidade do vento, radiação solar e de umidade relativa do ar), foram baseados em Carvalho Neto (2011), pois o mesmo aplicou o modelo SWAT para a bacia experimental de São João do Cariri, localizada no estado da Paraíba) para analisar a influência das mudanças no uso do solo no comportamento da produção de sedimentos e do escoamento superficial, utilizado a base da estação climática presente na Bacia Escola, uma bacia hidrográfica experimental localizada no município de São João do Cariri – PB, e optou-se por estes dados pelo fato da estação climática apresentar dados representando as características climáticas da região da bacia riacho do Tigre. E por fim, os dados de declividade foi pelo MDE, que foi gerado a

partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidas pela plataforma de dados online Brasil em Relevo, organizado e classificado pela EMBRAPA.

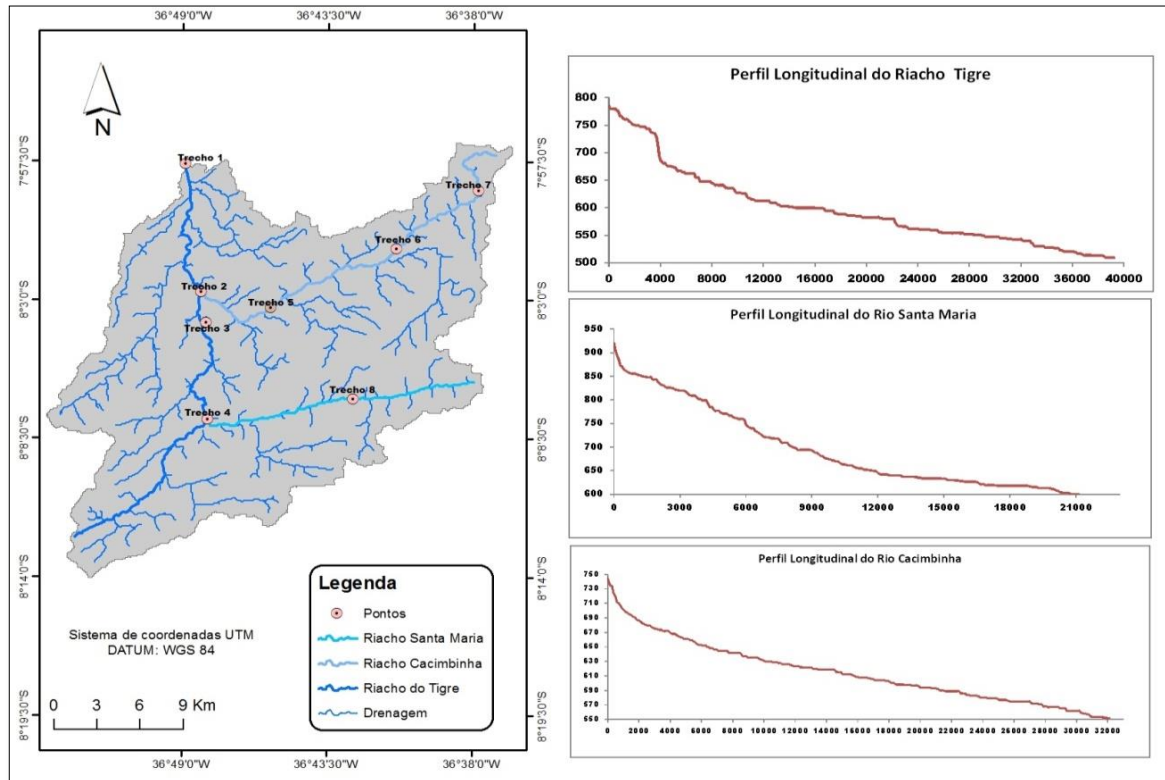
Assim com obtenção de informações da distribuição da vazão através do modelo hidrossedimentológico, além do gradiente do canal que foi medido em campo utilizando estação total, foram calculados a energia média e máxima do fluxo para nos oitos trechos fluviais representativos da bacia. E para uma melhor percepção da posição na bacia de cada trecho foi calculado a área de captação de cada um deles.

Por fim após o calculo da distribuição do fluxo de energia, foi relacionado os valores com resistência dos 8 trechos fluviais elencados para realizar classificação da estabilidade lateral dos mesmos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a escolha dos trechos detalhados, vários pontos da bacia foram visitados, sendo escolhidos oito trechos que apresentam características diversas sempre representativas para demonstrar a diversidade ambiental na bacia. Os trechos escolhidos para a análise da estabilidade das margens encontram-se localizados nos três principais riachos da bacia (figura 5), o próprio Riacho do Tigre, e seus dois maiores afluentes, o riacho Cacimbinha e o riacho Santa Maria, e apresentam diferentes características e condições de resistência lateral para a estabilidade dos canais. Como no perfil longitudinal do Riacho do Tigre, pode-se observar inicialmente uma altitude máxima de 785 m e mínima de 510, tendo como amplitude média 298 metros, tendo logo seguida uma diminuição abrupta da altimetria, no qual posteriormente há a diminuição do gradiente de forma suave. No riacho de Santa Maria, tem em sua extensão total 21 km de canal com altitude máxima de 901 metros e altitude mínima de 603 metros, sua amplitude média é de 298 metros, apresentando várias quebras de nível ao decorrer da bacia, pois segue encaixado numa falha. Já no riacho Cacimbinha, tem 32 km de extensão, apresentando uma altitude máxima de 742 metros e mínima de 553 metros.

Figura 5: Mapa de localização dos trechos analisados, e perfis longitudinais dos canais principais da bacia.



Dos oito trechos elencados, quatro estão localizados no Riacho do Tigre; o primeiro está situado na foz da bacia (trecho 1), sendo escolhido por estar em uma zona de predominância de processos deposicionais. O segundo trecho está localizado na confluência entre o Riacho do Tigre e o Riacho Cacimbinha, sendo o trecho analisado que apresentou a vegetação em maior nível de degradação. O terceiro ponto foi escolhido à montante do trecho dois, pois é uma área com maior sinuosidade dos riachos avaliados. Já o quarto trecho foi na confluência entre o Riacho do Tigre e o Riacho Santa Maria, sendo que se trata da interação de dois canais que apresentam elementos diferentes em relação à resistência a erosão das margens.

No riacho Cacimbinha foram definidos três trechos; o trecho 5, próximo a confluência com o Riacho do Tigre, sendo uma área com estabilidade intermediária bem influenciado pelo material de composição das margens. Enquanto que o trecho 6, na parte mediana do riacho, apresenta maior intensidade de processos erosivos e baixa resistência; e o trecho 7 na área de cabeceira do riacho, sendo um exemplo clássico de cabeceira com leito e margem rochosa. Por fim, no Riacho Santa Maria foi escolhido apenas o trecho oito, visto que

o mesmo não apresenta grande variação ambiental no seu curso, correndo encaixado em uma falha, apresentando encostas rochosas íngremes nas laterais.

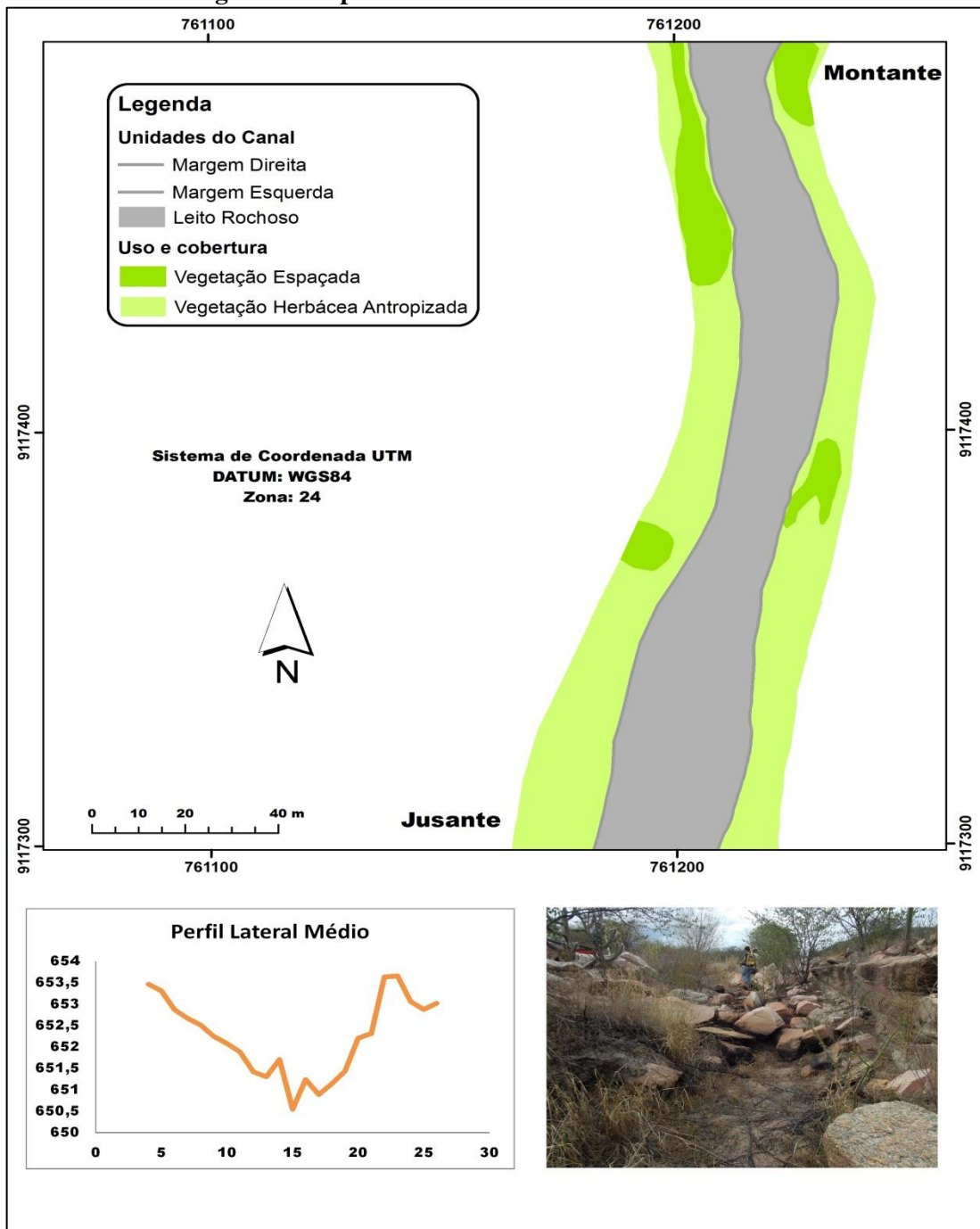
A análise da estabilidade desses trechos será dividida em dois momentos, inicialmente será avaliado a resistência, e posteriormente irá se relacionar a resistência com a energia do fluxo nos trechos, identificando assim o potencial de estabilidade lateral dos trechos.

5.1 Análise dos Trechos Fluvial de Alta Resistência Lateral

Dois trechos foram classificados como de alta resistência lateral, os trechos 7 e 8, ambos apresentando material de margem resistentes, mas com diferentes coberturas vegetais associadas. Ambos se caracterizam como canais confinados, que se trata de caracterização dos vales feita por Brierley & Frirys (2005), onde o vale se configura sem a presença de planícies de inundação, não ocorrendo assim o extravasamento do fluxo, com isso as ambas as margens e leitos rochosos, apresentando blocos soltos e lâminas de areias em pontos isolados, apresentam potenciais a ajustes limitado ou inexistente. Enquanto que nos trechos 7 e 8 apresentam margens íngremes, bem características de canais encaixados em falhas. Ambos apresentam morfologia irregular no leito e das margens, morfologia, imposta pela irregularidade dos afloramentos rochosos e pela presença de grandes blocos.

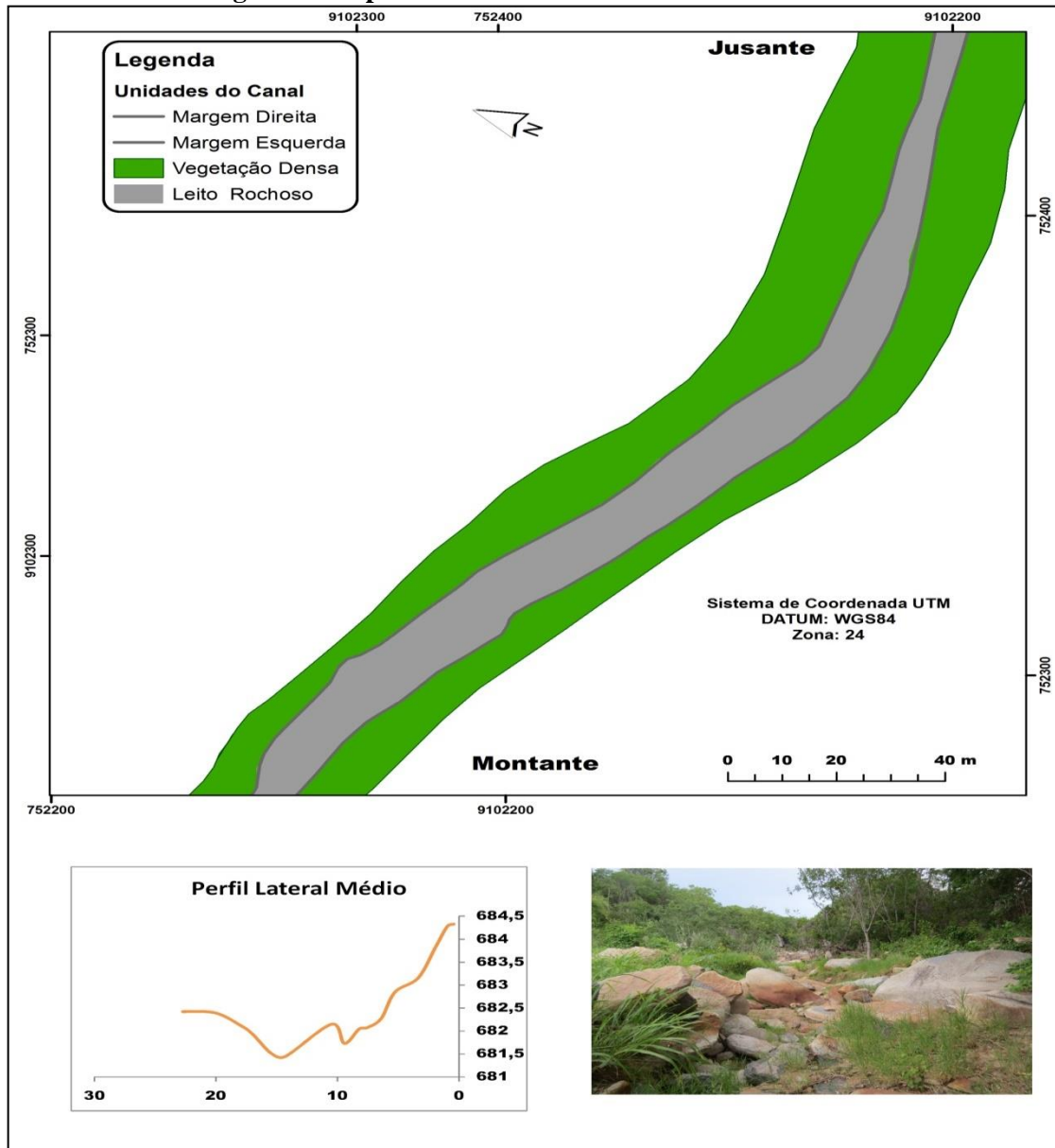
Porém em relação a variável da cobertura vegetal associada às margens no trecho 7, que está localizando na cabeceira do riacho cacimbinha (figura 6), predomina a vegetação herbáceas antropizada, com a presença esparsa de espécies arbustivas e herbáceas e com indivíduos arbóreos isolados. Apesar da falta de proteção vegetal a composição rochosa das margens controla a resistência lateral, sendo definida como alta resistência, com baixa capacidade de ajuste a mudanças nos fluxos. No perfil lateral pode-se observa a configuração do vale estreito, com uma forma irregular, ou seja, morfologia imposta devido à presença dos blocos rochosos.

Figura 6: Mapa de uso/cobertura resistência- Trecho 7



No trecho 8, situado no riacho Santa Maria, foi identificando com alta resistência lateral só pelo fator da resistência do material das margens cuja rochiosidade é fator controlador, ao contrário do outro trecho, a predominância da vegetação associada às margens é arbórea apresentando, também, espécies arbustivas e cobertura densa, sendo a preservação da área associada com as altas declividades das encostas, como pode ser observado no perfil lateral na figura 7 (devido à declividade acentuada e a alta densidade da vegetação não foi possível pegar pontos na encosta do lado esquerdo). Tendo dessa forma além do material das margens a vegetação como indicador de alta resistência para as margens.

Figura 7: Mapa de uso/cobertura resistência - Trecho 8



5.2 Análise dos Trechos Fluvial de Resistência Lateral Média

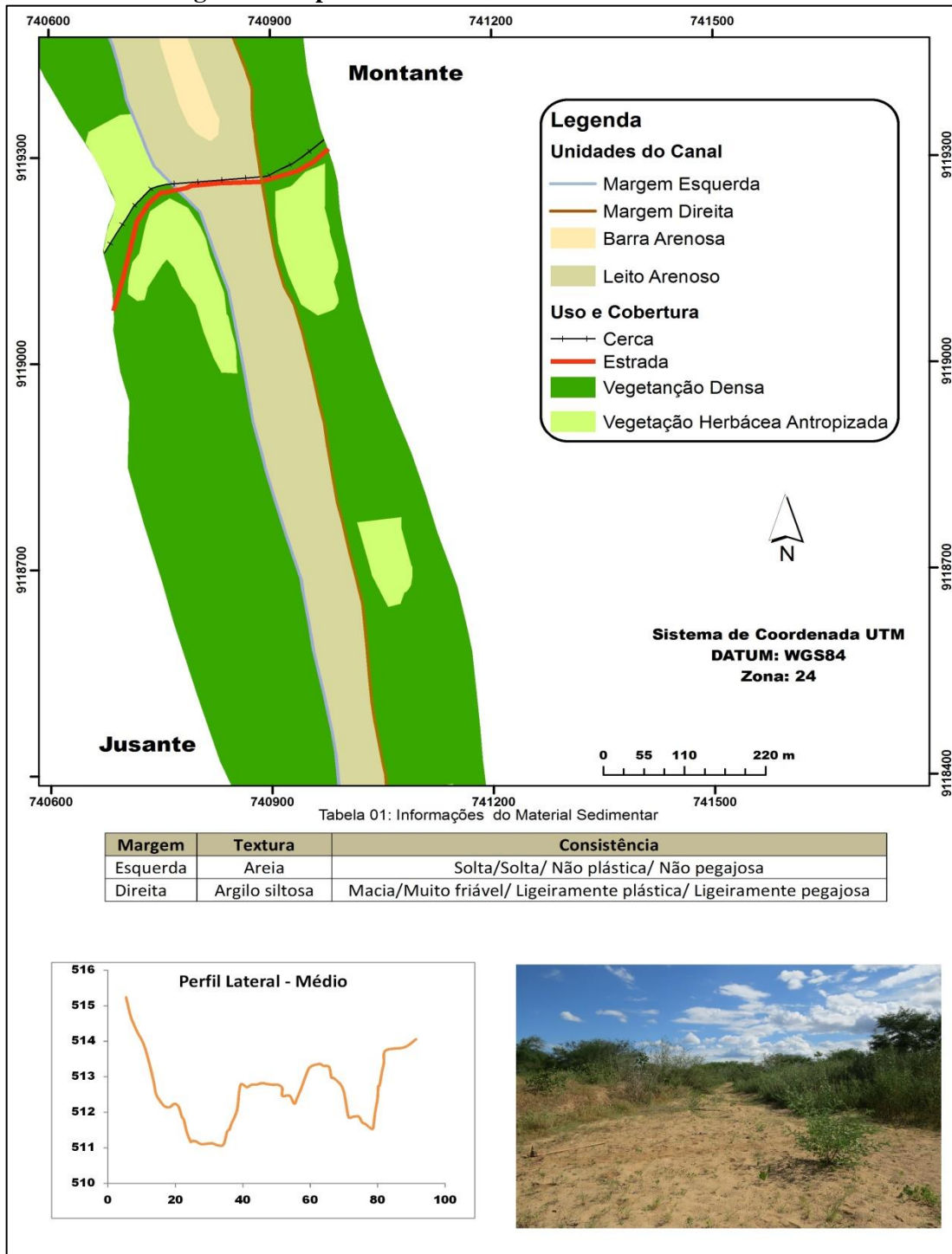
Quatro trechos foram classificados como tendo resistência lateral intermediária, sendo predominante na bacia áreas com resistência mediana, porém apesar de todos terem resistência mediana, apresentam algumas variações nos fatores controladores da resistência lateral do canal.

Para exemplificar pode-se começar a partir do trecho 1 que foi classificando com resistência média, estando localizado na foz da bacia hidrográfica, e de modo geral apresenta característica típica deste de ambiente fluvial. Como tendo configuração de vale não confinado, que ao contrário do confinado esta configuração se caracteriza, ocorre

extravasamento do fluxo em ambas as margens fluviais, ou seja, terá planície de inundação em ambas as margens, o que indica maior capacidade de ajuste do canal e instabilidade das margens devido à ausência de controles litológicos (Brierley & Fryirs, 2005). Já o leito apresenta textura arenosa, pois por se tratar de um ambiente fluvial do semiárido com predominância de transporte por carga de fundo, apresentando, como já colocado, dinâmica diferenciada dos ambientes úmidos. Assim, foram identificadas neste trecho margens do canal com textura arenosa, ou seja, um material de grãos mais grosseiro, com baixa porcentagem de material de coesão. Como pode ser observado no perfil lateral, apresenta o vale largo com uma divisão do canal devido por uma barra arenosa (figura 8).

Desse modo, em base nos testes de consistência do material sedimentar, a margem esquerda deste trecho apresenta uma textura arenosa, e a direita uma textura argilo-siltosa. Com base na tabela de grau de textura de Fryirs, K.; Brierley (2013), o material sedimentar apresenta em média 25% de silte e 30% a 40% argila. Então ao contrário da margem esquerda, esta apresenta ligeira pegajosidade e plasticidade, fatores que contribuem para a resistência. Já a cobertura de ambas as margens fluvial de modo geral apresenta espécies da caatinga herbácea e arbustiva com cobertura densa. Sendo assim, mesmo tendo alguma parte de solo exposto e intervenções antrópicas, não apresenta sinais erosivos, sendo classificada com resistência média, devido, principalmente, a alta densidade da vegetação associada às margens.

Figura 8: Mapa de uso/ cobertura e resistência - Trecho 1



No trecho 2, localizado na confluência entre o riacho do Tigre e o Riacho Cacimbinha, foi encontrado um material muito resistente, que apresenta uma alta coesão devido a teores maiores de argila no material da margem. Assim, na margem esquerda do Riacho Cacimbinha foi identificada uma textura argilo-siltosa, que frações da granulometria apresentam em média 25% de silte e 30% a 40% de argila, na direita a textura é argilosa. Já na

margem esquerda do Riacho do Tigre, apresenta uma textura argilo-siltosa e na margem direita uma textura franco-argilosa, em média apresenta 25% de silte e 30% a 40% argila.

Figura 9: Mapa de uso/cobertura e resistência - Trecho 2

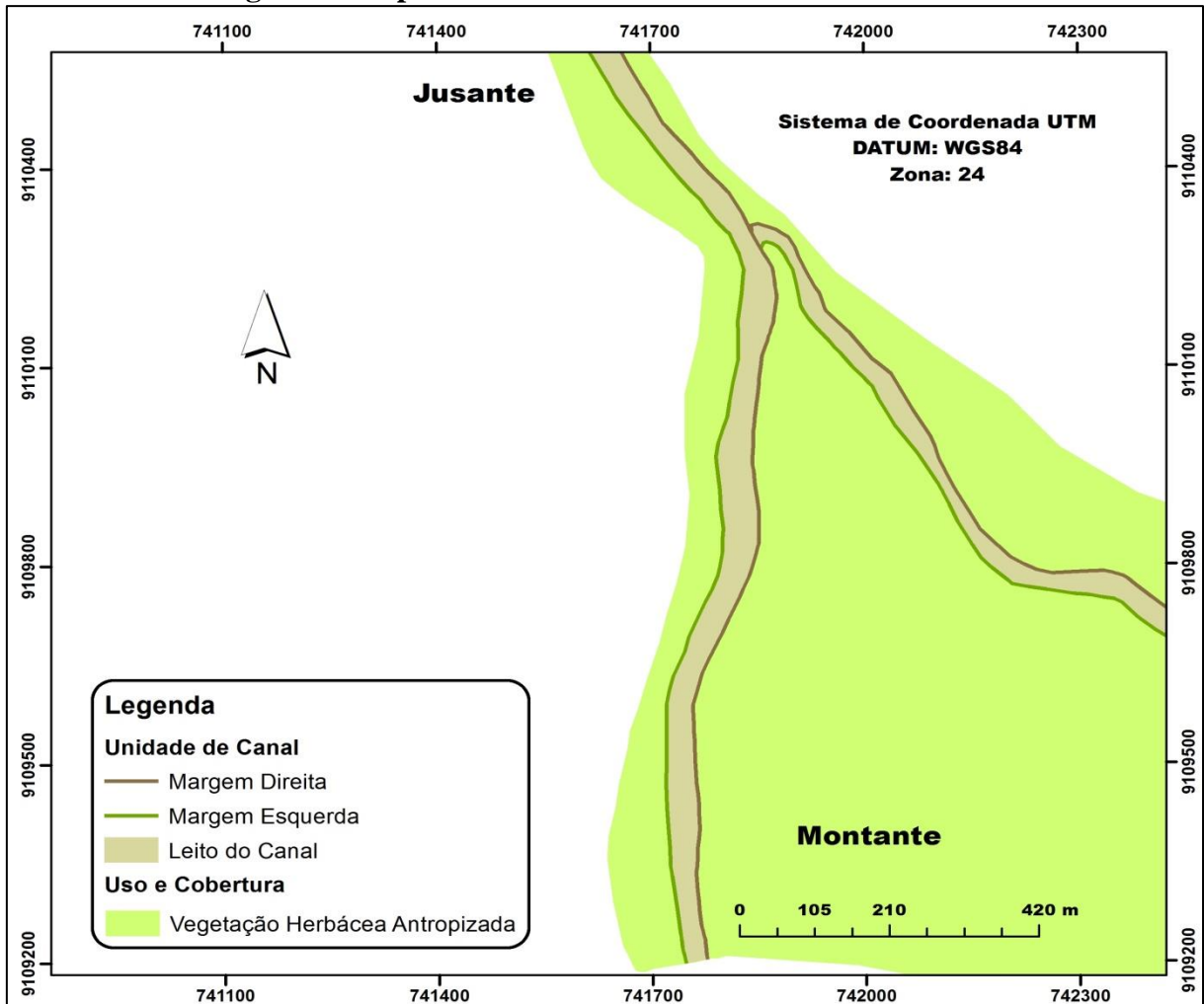
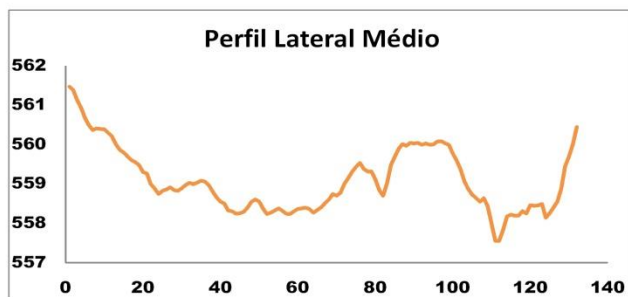


Tabela 01: Informação do Material Sedimentar

Canal Principal		
Margem	Textura	Consistência
Esquerda	Argila-siltosa	Dura/Ligeiramente firme/ Muito plástica
Direita	Franco argilosiltosa	Macia/Friável/ Ligeiramente/ Ligeiramente Pegajosa
Canal Afluente		
Margem	Textura	Consistência
Esquerda	Franco-argilosa	Macia/friável/Plástica/ Muito plástica/ Ligeiramente Pegajosa
Direita	Argila	Ligeiramente Dura/Friável/Plástica/ Ligeiramente Pegajosa



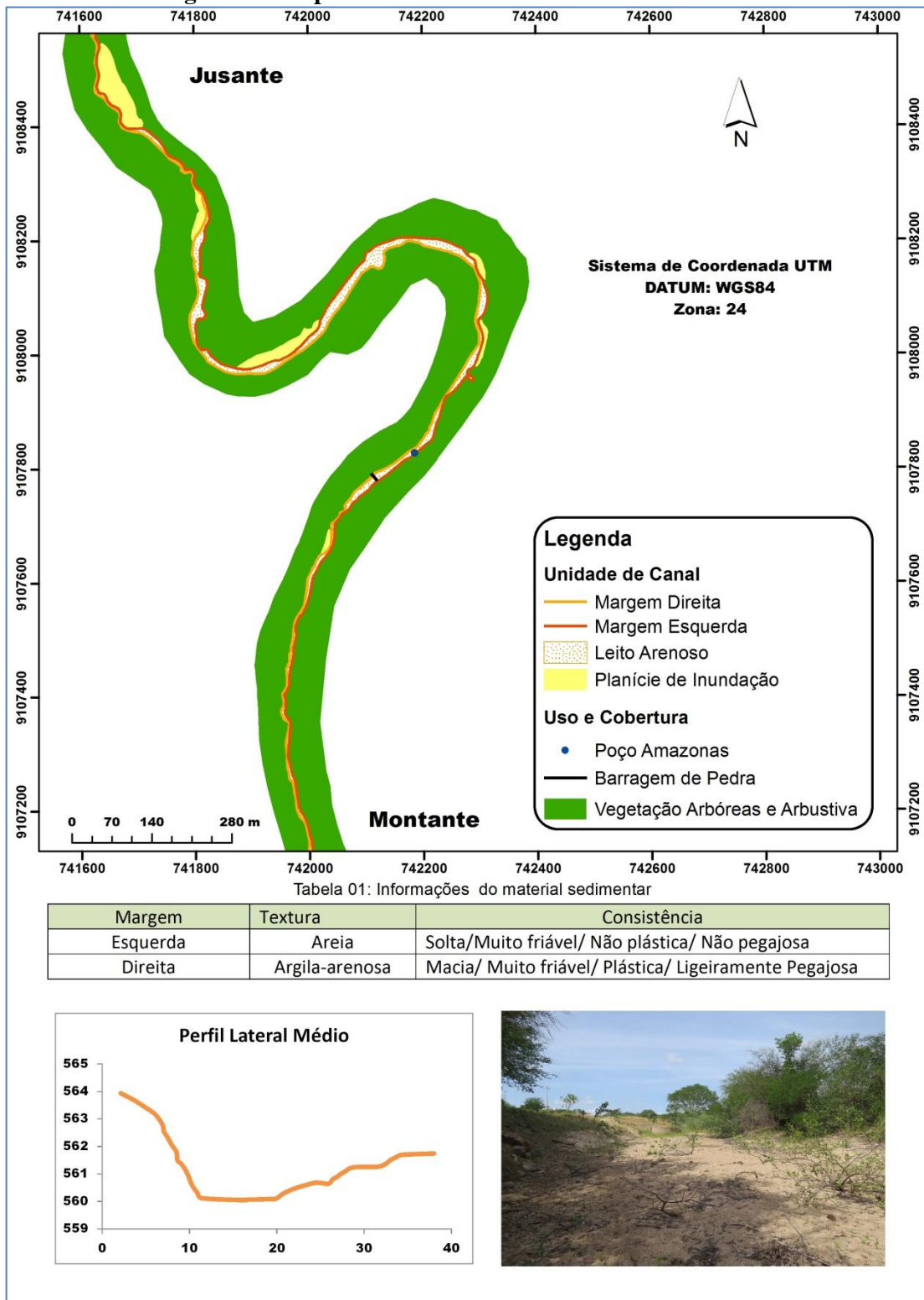
Contudo, ao avaliar a vegetação associada observa-se o uso agrícola das margens, onde não há basicamente presença de vegetação permanente, estando a vegetação existente em estágio avançado de degradação. Diminuindo, assim, tanto o fator de proteção do impacto da chuva contra o solo, bem como a função das raízes na coesão dos materiais da margem.

Ou seja, o trecho na variável de análise da vegetação apresenta como trecho mais antropizada da bacia, porém em relação à composição do material por ser coeso, este trecho não foi classificado como baixa resistência e sim como média. Ou seja, apesar da degradação da vegetação, a resistência interna do material superficial controla a resistência à erosão, tendo uma resistência média inclusive em eventos chuvosos fortes e algumas horas após esses eventos, quando as vazões atingem seus picos e a energia do fluxo se encontra alta. No perfil lateral médio (figura 9) onde temos uma visualização do corte lateral do canal, podemos observar a forma irregular no canal do riacho do Tigre e no canal do riacho Cacimbinha as margens apresentam uma forma mais vertical com algumas irregularidades.

Ainda no percurso do riacho do Tigre, à jusante do trecho anterior, o trecho 3 foi definido média resistência, esse trecho foi escolhido para ser analisado por apresentar uma textura arenosa tanto do leito quanto das margens, no qual contribui para o canal apresentar forma sinuosa, com isso a margem apresenta características de formas assimétricas.

Ao contrário do trecho anterior, este apresenta uma cobertura vegetal densa, e o material das margens é não coeso (figura 10). Na margem esquerda, os testes de consistências apresentaram um material, com característica solta, não plástica e muito friável, sendo identificado, assim uma textura de areia, de acordo com Fryirs, K.; Brieley (2013) esta textura apresenta entre 5% a 10% de argila. Já na margem esquerda a consistência apresentou características macia, plástica e muito friável, a textura identificada como franco-argilosiltosa, que no caso estas frações granulométricas é representada em média por 25% de silte e 30% a 40% de argila. Desse modo, por apresentar uma porcentagem baixa de frações granulométricas de silte e argila é um material que não apresentam coesão, no qual torna este trecho menos resistente à erosão e mais suscetível a modificações na morfologia, como pode-se observar na sinuosidade do referido canal.

Figura 10: Mapa de uso/cobertura e resistência - Trecho 3

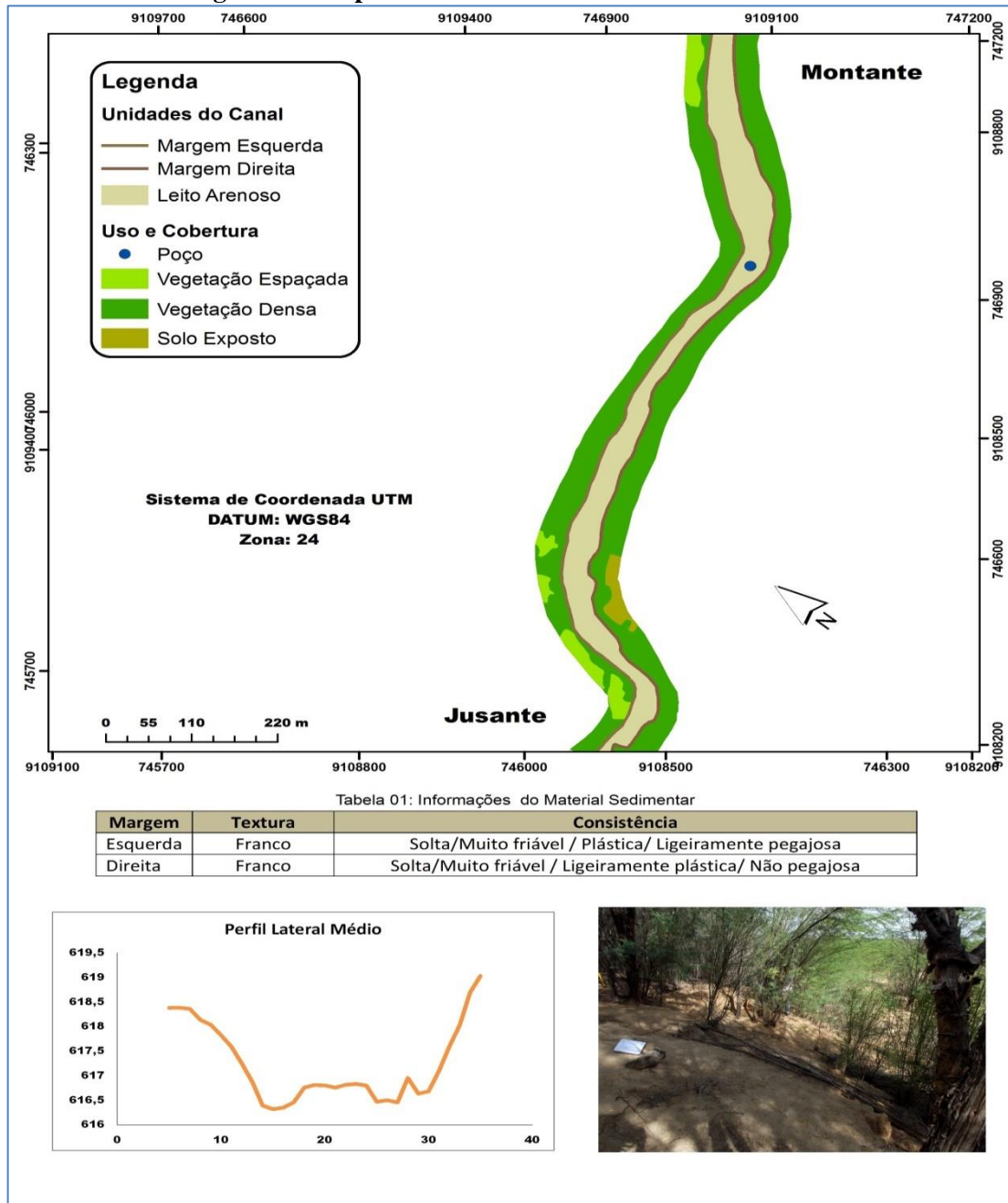


Apesar da baixa coesividade do material das margens o trecho foi classificando com resistência média, pois neste trecho apresenta espécies arbóreas e arbustivas sendo a predominância de vegetação arbustiva de cobertura densa, de modo que a vegetação aumenta

a estabilidade das margens criando uma estrutura de raízes que apresenta uma elevada resistência e reduzindo a velocidade da água junto à margem, no período de alta vazão.

Por fim, o trecho 5, localizado no riacho Cacimbinha, também foi classificado como tendo resistência média nas margens, podendo-se afirmar que o material que compõe as margens é o fator controlador da resistência.

Figura 11: Mapa de uso/cobertura resistência - Trecho 5



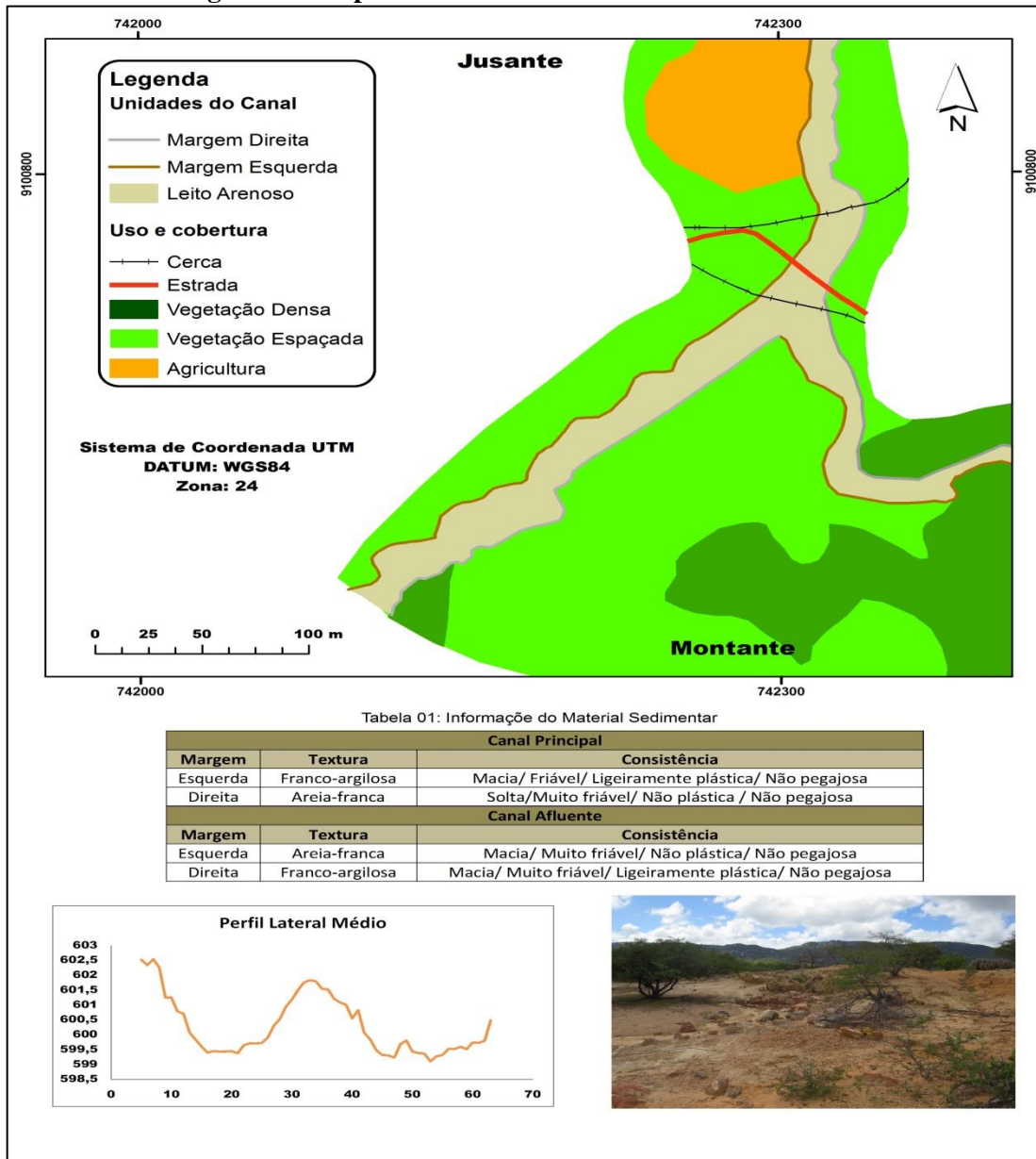
Localizado à montante da confluência entre do Riacho Cacimbinha, se caracteriza por possuir leito arenoso e uma cobertura vegetal com predominância de espécies de arbustiva densa em ambas as margens (figura 11). Em relação ao material que compõe as margens foi identificado textura franca, na qual estas frações granulométricas são representadas em proporções de partículas de areia, silte e argila, porém as quantidades não são exatamente iguais visto que uma porcentagem relativamente pequena de argila é suficiente para influenciar no material sedimentar, considerando que pequenas quantidades de areia e silte possuem menor influência sobre o comportamento do material sedimentar. Dessa forma ambos os elementos, material e vegetação, indicam uma resistência média para a área.

5.3 Análise dos Trechos Fluvial de Baixa Resistência Lateral

Para representar as configurações de baixa resistência lateral foram selecionados dois trechos, em que a visível erosão nas margens formaliza a caracterização de baixa resistência. O trecho 4 foi classificado como de baixa resistência, e é o trecho da confluência entre o Riacho do Tigre e o Riacho Santa Maria, se caracterizando com o leito arenoso e havendo presença de pedregosidade, além da forma do vale caracterizada como irregular principalmente nas margens as quais a planície de inundação divide os canais (figura 12).

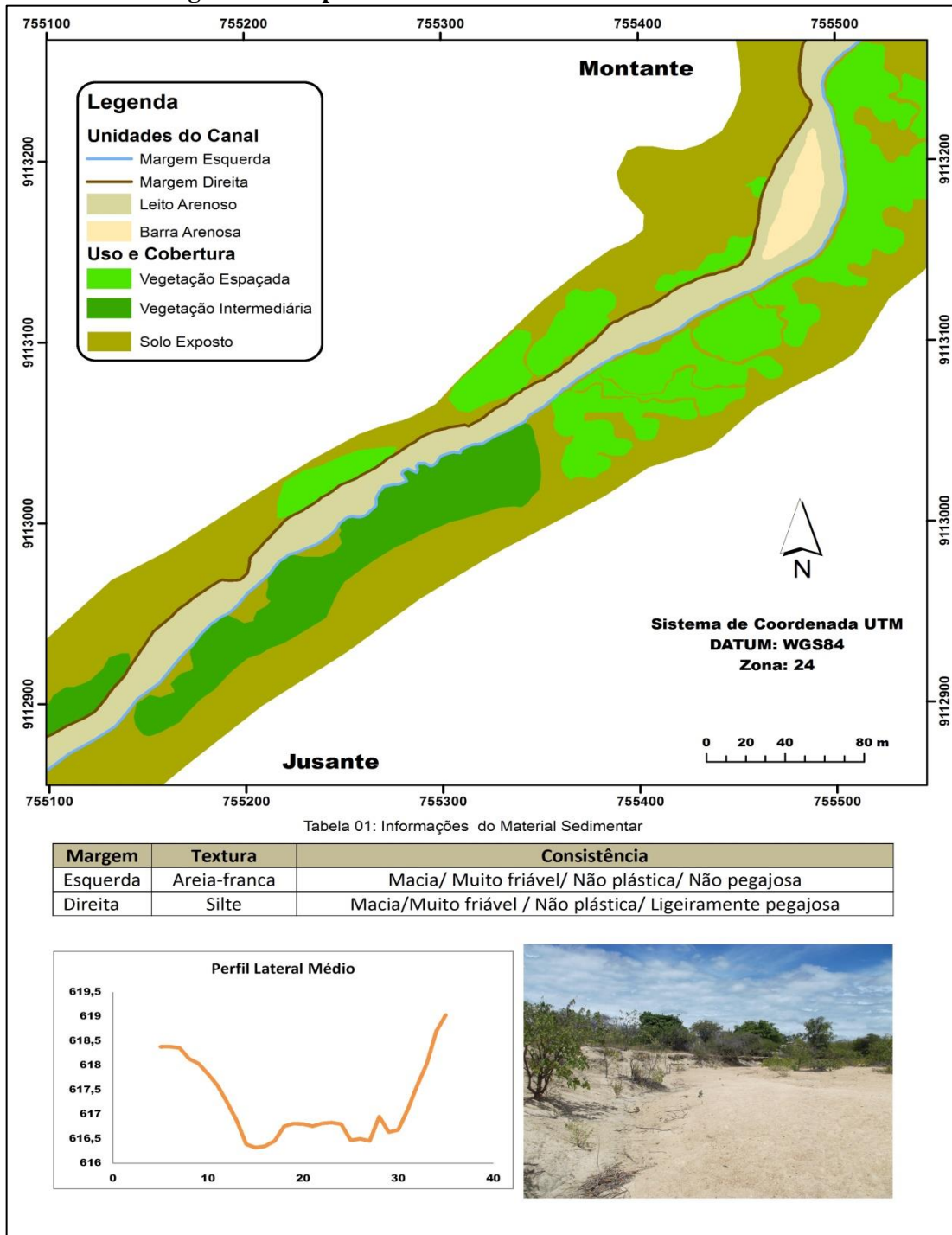
Para o Riacho do Tigre, a margem esquerda apresentou material constituinte de textura franco argilosa, no qual se tem uma predominância de frações granulométricas de argila, mas não o suficiente para o material apresenta consistência plástica e pegajosa, e a margem direita textura de areia franca também se caracteriza por ter a predominância de material de baixa coesão, que não apresenta uma consistência nem plástica e nem pegajosa. Ao mesmo tempo a vegetação associada as margens apresenta-se degradada e espaçada, não auxiliando na resistência lateral; que pela relação de material de baixa resistência e vegetação degradada foi classificado como área de baixa resistência. Já para o Riacho Santa Maria, apesar das margens serem compostas por material similar, a predominância de vegetação densa e a baixa intervenção antrópica esta classificada com média resistência. Esse cenário demonstra a importância da cobertura vegetal associada às margens para classificar a resistência aos processos de migração e erosão lateral dos ambientes fluviais.

Figura 11: Mapa de uso/cobertura e resistência - Trecho 4



Por fim, o trecho 6 que apresenta uma baixa resistência das margens, também tendo como características ter leito arenoso que apresenta um canal de forma similar aos canais simétricos, contudo apresenta variações relacionadas ao nível de inundação apresentando processos erosivos nas margens.

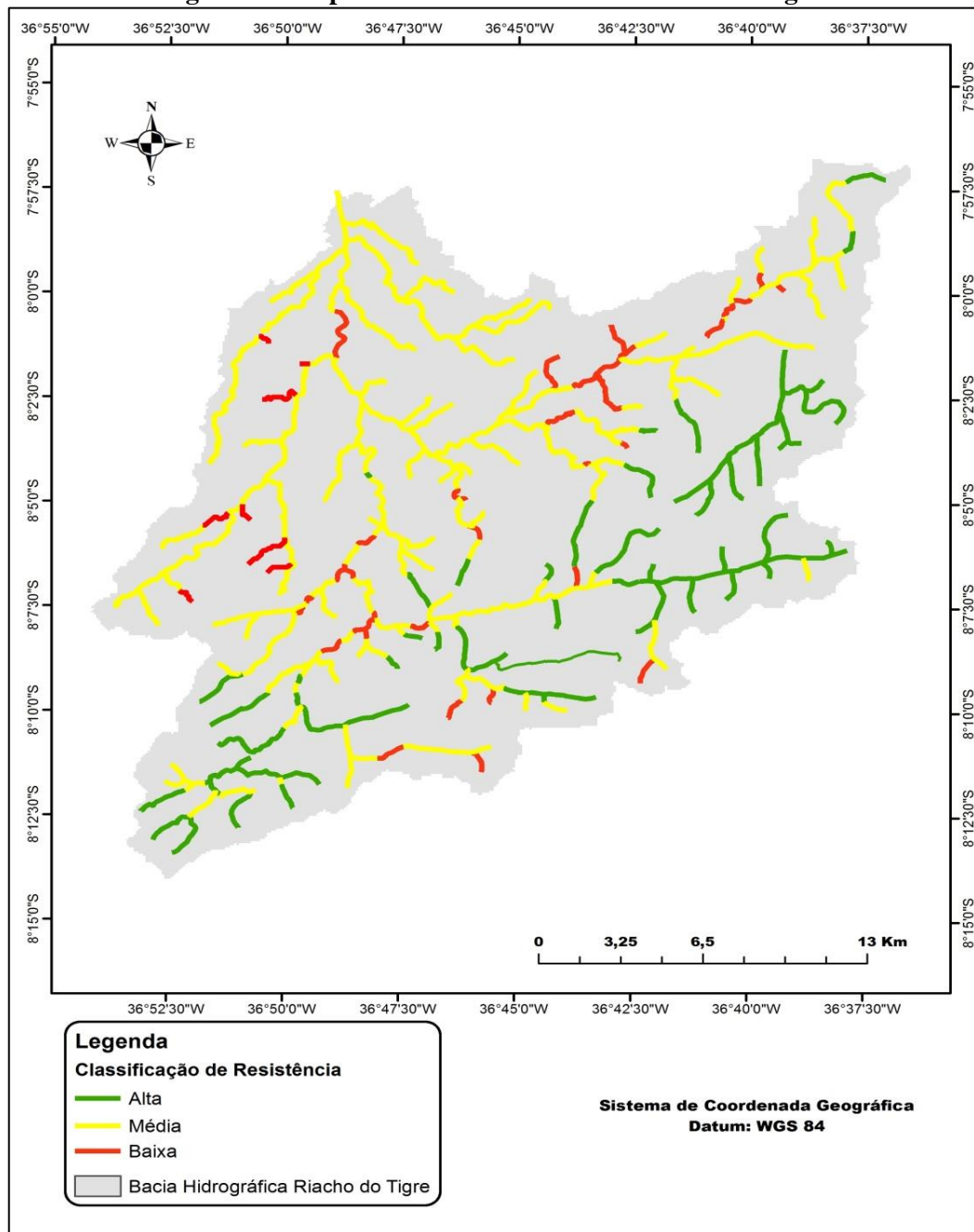
Figura 12: Mapa de Uso/cobertura e resistência - Trecho 6



Assim, observa-se linhas erosivas nas margens, especialmente na margem direita, nas áreas de baixa resistência lateral e com predominância de erosão principalmente na margem direita composta de material siltoso, não apresentando alta coesão, caracterizado por não apresentar plasticidade e pegajosidade. Já na margem esquerda, fora identificada uma textura areia franca. Ao mesmo tempo, apesar de apresentar vegetação arbórea e arbustiva, a cobertura é espaçada, caracterizando-se como cobertura degradada. Desse modo, relacionando a baixa proteção da vegetação e a baixa coesão do material das margens, esse trecho foi classificado tendo baixa resistência lateral. A variação da vegetação, de espécies arbóreas e arbustiva, entre os trechos é caracterizada por uma cobertura espaçada e também a predominância do solo exposto (figura 13).

Por fim, tendo identificados a resistência para os trechos representativos da bacia foi possível espacializar essas informações, assim no mapa de resistência da bacia (figura 14) para os trechos fluviais que estão classificados com resistência alta, apresenta como ponto primordial uma margem composta de material rochoso ou argiloso quando também apresenta uma cobertura vegetal densa nas margens, no qual a principal característica dessas áreas, esta localizado nas áreas serranas da bacia de aspectos úmidas e subsumido. Já nos canais de resistência média, as maiores partes apresentam margem com textura franca-argilosa, franca-siltosa ou franca-arenosa, pois junto as mesmas há a presença de cobertura vegetal densa contribuir na resistência a erosão mesmo apresentado uma energia do fluxo elevada. Por fim, os trechos classificados como baixa tem como características, as margens que podem ser compostas de material pouco coeso como os de textura arenosa, franco ou areia-franca, e ainda presente uma cobertura vegetal espaçada ou degradada. Assim, tanto áreas de media e baixa resistência da bacia estão localizadas nas partes baixa do relevo, nas áreas semiáridas.

Figura 13: Mapa de resistência da Bacia Riacho do Tigre



5.4 Energia do fluxo e estabilidade Lateral

Após a classificação da resistência a erosão das margens, foi calculado a distribuição da energia do fluxo nos trechos analisados, que é um elemento essencial para avaliar o potencial de estabilidade das áreas, visto que o valor da energia do fluxo representa a força de distúrbio para o trecho, que interage com a resistência e determina a estabilidade lateral da área.

Então a partir do modelo utilizado foi possível construir a tabela 02, a qual sumariza os dados encontrados para cada trecho, definindo a distribuição da energia do fluxo relacionado com resistência dos trechos. Desse modo, os trechos no qual apresentam maior média de energia fluxo foram os trechos 2, 4 e 7, apresentando respectivamente os valores 99,59 W/m, 74,95w/m e 38,75 W/m, para a energia do fluxo específico, trechos 4 e 8 (tabela 02) destacam respectivamente com um valor de 3,82 W/m² e 3,02 W/m², contudo o trecho 4 mesmo não estando situado numa área da bacia que tenham um alto gradiente, o trecho apresenta uma alta energia específica, pois tratar-se de uma confluência, onde o aumento da vazão relacionado a largura do canal vai gerar distúrbio. Já para trecho 7 no qual se localiza na cabeceira do riacho Cacimbinha, mesmo apresentando um dos gradientes mais altos entre os trechos analisados este o mesmo apresenta uma baixa energia do fluxo tanto para total como para específica, devido à baixa vazão e a influência de uma barragem que esta a jusante.

Tabela 2: Informações Hidrológicas dos trechos analisados.

Trecho	Área de captação (km ²)	Gradiente (m/m)	Vazão Média (m ³ /s)	Vazão Máxima (m ³ /s)	Energia Média (W/m)	Energia Máxima (W/m)	Energia Média E. (W/m ²)
1	531,59	0,0011	3,073	306,60	33,13	3305,15	0,41
2	403,66	0,0040	2,541	224,00	99,59	8780,80	3,02
3	218,49	0,0027	1,378	141,60	36,87	3788,37	2,17
4	174,95	0,0061	1,248	116,40	74,95	6992,61	3,82
5	143,09	0,0030	0,930	67,78	27,17	1979,45	1,13
6	38,52	0,0131	0,225	27,98	28,87	3592,07	1,37
7	8,21	0,0120	0,044	5,55	5,15	652,56	0,40
8	36,09	0,0250	0,158	19,70	38,75	4826,50	3,05

Sendo a energia do fluxo uma variável de grande importância para os estudos de geomorfologia fluvial, pois afetam na competência de transporte de sedimentos e influenciam no controle de diversos aspectos da forma do canal e assim além de expressar o dispêndio de energia do rio para realizar os processos fluviais, de erosão, transporte e deposição (NANSON & CROKE, 1992). Tendo identificados a resistência e avaliado a força de distúrbios para os trechos representativos foi possível inter-relacionar essas informações e definir a estabilidade

lateral dos trechos analisados dos canais, e desse modo realizar uma classificação da estabilidade lateral para trechos fluviais analisados (tabela 2).

Tabela 3: Relação da energia do fluxo com a resistência.

Trecho	Energia Média (W/m)	Energia Máxima (W/m)	Energia Média E. (W/m²)	Resistência	Estabilidade
1	33,13	3305,15	0,41	Médio	Intermediário
2	99,59	8780,80	3,02	Médio	Instável
3	36,87	3788,37	2,17	Médio	Instável
4	74,95	6992,61	3,82	Baixa	Instável
5	27,17	1979,45	1,13	Médio	Intermediário
6	28,87	3592,07	1,37	Baixa	Instável
7	5,15	652,56	0,40	Alta	Estável
8	38,75	4826,50	3,05	Alta	Estável

Com base no resultado da energia do fluxo relacionados com a resistência das margens fluviais (tabela 03), os trechos 7 e 8 foram identificados como sendo estável, e mesmo o trecho 8 que apresenta um maior índice de energia se classificar como estável, devido as margens exercer um controle estrutural.

O trecho 1 e 5 foram identificando com uma estabilidade intermediaria, devido não apresenta uma energia alta em relação aos outros trechos analisados e também na variável da resistência a vegetação nesses dois trechos, pois como coloca Pollen e Simon (2005), a cobertura vegetal, especialmente o papel radicular, pode reforçar a resistência das margens, aumentando assim a resistência a erosão. Já para os trechos idetificados como istável, foram para os trecho que apresenta uma baxia resistencia relaciondo tambem a uma alta energia identifadas no trechos, que no caso do trecho 4 é 6, apresentando um maior índice de energia, relacionado também a baixa resistência em relação ao material sedimentar que compões as margens e a cobertura da vegetação escassa, desse modo justificando assim que este trecho apresenta uma baixa estabilidade lateral, ou seja, o trecho instável. No caso do trecho 2 e 3 mesmo tendo uma média resistência, quando é relacionado a energia especifica, foram identificados como instável, principalmente o trecho e apresenta áreas da planície de inundação antropizada.

6 CONSIDERAÇÕES

Diante do exposto, pode-se afirmar que a combinação dos processos fluviais da margem e leito e variabilidade dos materiais, gera diferenciações da capacidade de ajustamento na morfologia do canal, contudo a estabilidade lateral do canal vai depender da resistência da capacidade de ajuste e da energia do fluxo, e da composição e disposição do material da margem, como na cobertura e uso das mesmas.

E de acordo com resultados obtidos, na aplicação metodológica foi possível identificar a estabilidade das margens, e também entender que as mesmas variam de acordo com as características endógenas de cada sistema fluvial e que os processos de alterações laterais das margens fluvial estão entre os processos mais recorrentes nas paisagens fluviais e o entendimento do seu mecanismo de atuação é fundamental para a explicação da evolução dos diversos elementos da dinâmica fluvial, principalmente dos ambientes fluviais de terras secas.

No geral, diante do que foi explanado no presente trabalho, considera-se notória a necessidade de estudos mais detalhados para ambientes fluvial do semiárido, no qual esta identificação aos ambientes fluviais do semiárido exerce importante função do ponto de vista hidrológico e ecológico, contribuindo assim para identificação de áreas nas quais apresente modificação, como também contribuir para observar a resiliência do sistema fluvial. E desta maneira possibilita uma visão sistêmica e integrada dos componentes do ambiente fluvial tendo como foco principal os recursos hídricos e gerenciamento do mesmo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM.R.R. Um Novo Olhar na Geografia para os Conceitos e Aplicações de Geossistemas, Sistemas Antrópicos e Sistemas Ambientais. **Caminhos de Geografia Uberlândia** v. 13, n. 41 mar/2012 p. 80 – 101.

ANDREWS. E. D. Bank Stability and Channel Width Adjustment, East Fork River, Wyoming, **Water Resources Research**, VOL. 18, NO. 4, PAGES 1184-1192, AUGUST 1982.

ATTANASIO.C.M; GANDOLFI.S; ZAKIA.M.J.B ;JUNIOR.J.C.T.V .A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia, Campinas**, v. 71, n. 4, p.493-501, 2012.

BERTALANFFY, V. L. **Teoria geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1975.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª. ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

BRIERLEY, G. J. e FRYIRS, K. A., 2005. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications.

CAVALCANTE, A.A; CUNHA, S. B. **Dinâmica Fluvial no Semiárido e Gestão dos Recursos Hídricos: Enfoques sobre a Bacia do Jaguaribe – CE**. IN: Potencialidades MEDEIROS.C.N; GOMES.D.D.M; ALBUQUERQUE.E.L.S; Cruz .M.L.B.C. Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades.Fortaleza: IPECE, 2011. 268 p.

CAVALCANTE, A.A; CUNHA, S. B.Morfodinâmica Fluvial em Áreas Semiáridas: Discutindo o Vale do Rio Jaguaribe-CE-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.1, (Jan-Mar) p.39-49, 2012.

CAVALCANTI. L.C.S; **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo oficina texto, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editoração Edgar Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999.
- COELHO. A.L. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. **Caminhos de Geografia Uberlândia** v. 9, n. 26 Jun/2008 p. 16 – 32.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 93-148.
- CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de São João do Tigre, Estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 211-251.
- DANTAS, J. C. **Processos hidrossedimentológicos na bacia do Rio Taperoá**. (2016). 80 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.
- EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 1998. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. USA, 637p.
- FRYIRS, K.; BRIELEY, G.J.. A Geomorphic Approach to Identification of River Recovery Potential. **Physical Geography**, 21, 244-272.2000.
- FRYIRS, K. A. AND BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2013.
- GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.
- HAIGH, J.M Oxford, U.K.: Geography and General System Theory, Philosophical Homologies and Current Practice, Printed in Great Britain. **Geoforum**, Vol1.6 No. 2, pp. 191~203.1985.
- HOOKE J.M. An Analysis of the Processes of River Bank Erosion. **Journal of Hydrology**, 42:39-62. 979.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia** 2.ed. Rio de Janeiro, 2007.

LIMBERGER, L. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia** - v. 15, n. 2, jul./dez. 2006.

MAGALHÃES H.E.S. **Avaliação do estado de potencial erosão das margens de um curso de água. Aplicação a troços estuarinos de rios do norte de Portugal.** Dissertação submetida para especialização em hidráulica. Faculdade de engenharia da universidade do Porto. Junho.2010.

MALTCHIK, L. **Ecologia de Rios Intermitentes Tropicais.** Grupo Ecologia de Rios do Semi-Árido. Departamento de Sistemática e Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2012.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MORIN, E. **O Método I: A Natureza da Natureza.** 2. ed. Portugal : Publicações Europa-América, Lda 1977.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos.** 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.

NEITSCH, S. L; et al.;2011. **Soil and water assessment tool: Theoretical documentation-Version.** Temple: Agricultural Research Service (USDA) e Texas Agricultural Experiment Station (Texas AeM University). p 3-6.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. (2005). Soil And Water Assessment Tool – Theoretical Documentation. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 494p.

PEREIRA.T.K; MORO.R.S. Paisagem ripária fluvial dos rios Pitanguí e Jotuva no primeiro planalto paranaense, ponta grossa, PRGEOUSP - **Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 31, pp. 79 - 93, 2012.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2008. p. 17-35.

POLLEN, N.; SIMON, A. Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on stream bank stability using a fiber bundle model. **Water Resources Research**, VOL. 41, W07025, doi:10.1029/2004WR003801, 2005

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. SRINIVASAN, V. S. (2000). Influência do tipo da cobertura vegetal sobre erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 4, nº 1, pp92-96.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Caldwell: The Blackburn Press, 1977.

SILVA, L.C. Manejo de rios degradados: uma revisão conceitual. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 23-32.

SILVA, B.F.S **Análise dos parâmetros do modelo hidrossedimentológico SWAT na bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia- GO** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Goiânia, 2015

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, v. 11, p. 149-168, 2012b.

SOUZA, J.O.P. Dos Sistemas Ambientais ao Sistema Fluvial – Uma Revisão de Conceitos. **Caminhos de Geografia** Uberlândia v. 14, n. 46 Set/2013 p. 224–233.

SOUZA, J. O. P. **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** Dissertação- Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2011.

SOUZA, J.O.P; ALMEIDA, J.D.M. Processos fluviais em terras secas: uma revisão. **Revista OKARA: Geografia em debate** v.9, n.1, p. 108-122, 2015. ISSN: 1982-3878.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – **ABRH**. 2ª Edição. Porto Alegre.2005.