



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**THIAGO MORATO DE CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO BRANCO, ESTADO DE RORAIMA, BRASIL.**

**FORTALEZA**

**2018**

THIAGO MORATO DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
BRANCO, ESTADO DE RORAIMA, BRASIL.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Geografia da Universidade Federal do Ceará,  
como parte do requisito para obtenção do título de  
doutor em Geografia. Área de concentração:  
Dinâmica Territorial e Ambiental.

Orientador: Prof.Dr. Rúbson Pinheiro Maia

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Jeovah de  
Andrade Meireles

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C331 Carvalho, Thiago Morato de  
Caracterização Hidrogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Branco,  
Estado de Roraima, Brasil / Thiago Morato de Carvalho. - 2018.  
166 f. : il.color.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,  
Departamento de Geografia, Programa de Pós Graduação em Geografia,  
Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia.

Coorientação: Prof. Dr. Antônio Jeovah Meireles.

1. Hidrogeomorfologia. 2. Áreas úmidas. 3. Bacia Hidrográfica do rio Branco.

CDD 550

---

THIAGO MORATO DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
BRANCO, ESTADO DE RORAIMA, BRASIL.

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Lidriana de Souza Pinheiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Edinaldo Nelson dos Santos-Silva  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

---

Prof. Dr. Diógenes Felix da Silva Costa  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

---

Prof. Dr. Adauto de Souza Ribeiro  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador professor Dr. Rúbson Maia pela parceria nas sugestões/críticas da tese e recepção durante minha curta passagem pela Univ. Federal do Ceará; agradeço ao professor Dr. Antônio Jeovah pelos conselhos e conversa que tivemos em sua passagem na Univ. Estadual de Roraima; agradeço ao meu pai, professor Dr. Celso Morato de Carvalho pelos conselhos e ajuda em todos os aspectos durante minhas fazes acadêmicas e apoio na infraestrutura em campo e vida; agradeço a equipe do MaxPlanck/INPA, Dr. Florian Wittmann e Dr. Junk, por conversas e conselhos, ao técnico Celso pelo apoio em campo e téc. José Lima na identificação de espécies arbóreas; agradeço ao téc. Jean Flávio/CPRM-RR, prof. Carlos Sander (UFRR) e Daniel Gianluppi (IACT/RR) pelo apoio em campo; Meus agradecimentos também vão à iniciativa do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFC em firmar o programa Dinter com a UERR e UFRR, possibilitando uma logística a qual permitiu uma flexibilidade com as atividades docente e o doutorado, assim como um intercâmbio e parcerias entre os docentes destas instituições de ensino. Um agradecimento vai também ao professor Edgardo Latrubesse, com base em confiança e período de amizade, abriu portas no passado para temáticas as quais apresento nesta tese.

## RESUMO

Esta tese está inserida na temática de estrutura e funcionamento da hidrodinâmica das áreas úmidas do Estado de Roraima, em particular, enfoca como as características fisiográficas e os padrões periódicos de inundação se comportam nos diferentes ambientes da bacia hidrográfica do rio Branco. São várias as questões das quais podem direcionar para um melhor entendimento dos ambientes que formam a bacia hidrográfica do rio Branco, neste intuito, esta pesquisa visa em responder algumas perguntas como: a) De que forma a bacia hidrográfica do rio Branco está inserida no Estado de Roraima, levando em consideração seus aspectos geomorfológicos relacionados aos ambientes denudacionais e agradacionais? b) Como se dá a dinâmica hidrogeomorfológica do rio Branco e sua relação com os aspectos biogeográficos, neste caso, será se a vegetação pode fornecer subsídios para uma classificação? c) Como se caracterizam as áreas úmidas da bacia hidrográfica do rio Branco, e de que forma podem contribuir para um melhor entendimento da dinâmica deste sistema fluvial? Esta tese está estruturada em um formato o qual apresenta os resultados nos moldes de artigos científicos, com as divisões clássicas contendo os itens de *introdução*, *metodologia*, *resultados* e *discussão* pertinentes ao tema desta tese. Com relação às temáticas dos artigos, estes abrangem os seguintes temas: classificação dos ambientes denudacionais e agradacionais de Roraima; aspectos hidrológicos e dinâmicos do rio Branco; características e classificação dos sistemas lacustres não fluviais do Nordeste de Roraima; morfometria da drenagem do alto rio Branco; e florística do rio Branco como apoio à classificação sendo um ambiente típico de várzea ou de igapó. Estes resultados estão nos apêndices de 1 a 5. Na perspectiva dos estudos aqui apresentados, estes possuem informações que somadas a outras, irão contribuir para fortalecer o entendimento que temos sobre os ambientes que são periodicamente alagados nesta porção da Amazônia. Esta contribuição pode ser focada sob o aspecto acadêmico, no sentido de adquirir um conhecimento novo e sob o aspecto da aplicação do conhecimento gerado, sendo importante para contornar problemáticas de gestão territorial e ambiental, servindo de base metodológica para a caracterização dos aspectos fisiográficos da paisagem e o entendimento de sua dinâmica espaço-temporal.

**Palavras-chave:** Áreas úmidas. Hidrogeomorfologia. Bacia Hidrográfica do rio Branco. Roraima.

## ABSTRACT

The thematic of this thesis is about on the structure and functioning of the hydrodynamics in the wetlands of Roraima, in particular, it focuses on how the physiographic characteristics and periodic flood patterns behave in the different environments of the Branco drainage basin. There are several questions that may lead to a better understanding of the environments that form the Branco drainage basin, this research aims at answering some questions like: a) How the Branco drainage basin is inserted in the State of Roraima, taking into account its geomorphological aspects associated in denudational and agradational environments? b) How does the hydrogeomorphological dynamics of the Branco river occur and its relation with the biogeographic aspects, in this case, is possible if the vegetation can provide subsidies for a classification? c) How are the wetlands of the Branco drainage basin characterized, and how can they contribute to a better understanding of the dynamics of this fluvial system? This thesis is structured in a format that presents the results formatted in the form of scientific articles, with the classic divisions containing *introduction*, *methodology*, *results* and *discussion* pertinent to the theme of this thesis. With regard to the themes of the articles, these cover the following themes: classification of the denudational and agradational environments of Roraima; hydrological and dynamic aspects of the Branco river; characteristics and classification of non-fluvial lacustrine systems in the Northeast of Roraima; morphometry of the upper Branco river; and floristic of Branco river as support to the classification being a typical environment of várzea or igapó. These results are presented in appendices 1 through 5. From the perspective of the studies presented here, they have information that, together with others, will contribute to understanding we have about the environments that are periodically flooded in this part of the Amazon. This contribution can be focused on the academic aspect, in order to acquire a new knowledge and under the aspect of the application of generated knowledge, being important to overcome problems of territorial and environmental management, serving as a methodological basis for characterization of physiographic aspects of the landscape and the understanding of its spatio-temporal dynamics.

**Keywords:** Wetlands. Hydrogeomorphogy. Branco Drainage Basin. Roraima.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Branco, Roraima.....	12
Figura 2 -	Destaque da bacia hidrográfica do rio Branco e os principais rios do Estado de Roraima.....	13
Figura 3 -	Afloramentos rochosos do trecho encaixoeirado do Bem Querer, trecho próximo à cidade de Caracarái, transição do alto para o médio rio Branco.....	14
Figura 4 -	Imagem altimétrica (SRTM) e perfil topográfico ilustrando os três compartimentos (indicados na figura sendo I, II e III), conforme discutido no apêndice.....	16
Figura 5 -	Destaque das áreas úmidas de Roraima e os principais rios.....	17
Figura 6 -	Localização do Estado de Roraima (1) em relação a bacia hidrográfica do Amazonas (2).....	30
Figura 7 -	Classes altimétricas do Estado de Roraima.....	32
Figura 8 -	Imagem Landsat 8 (OLI)/2015 do Estado de Roraima, com destaque para as três principais tipologias vegetacionais de Roraima.....	35
Figura 9 -	ADCP modelo Rio Grande.....	40
Figura 10 -	ADCP modelo Rio Grande. Esta posição mostra os “beens”, transdutores (círculos vermelhos) do ADCP. A escala mostra 20 cm de diâmetro.....	40
Figura 11 -	Garrafa de Van Dorn. Utilizada para coleta de sedimentos em suspensão no rio Araguaia.....	41



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>1.1</b>	<b>Abordagem Temática</b> .....	8
<b>1.2</b>	<b>Problemática</b> .....	9
<b>1.3.</b>	<b>Objetivos</b> .....	10
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral</i> .....	10
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i> .....	10
<b>1.4</b>	<b>Área de Estudo</b> .....	10
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da Tese</b> .....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Bacia hidrográfica como sistema geomorfológico</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Sistemas fluviais: agentes modeladores da superfície terrestre</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Variáveis que modelam o canal do rio</b> .....	22
<i>2.3.1</i>	<i>Sedimentos em Suspensão</i> .....	23
<i>2.3.2</i>	<i>Sedimentos de Fundo</i> .....	25
<i>2.3.3</i>	<i>Vazão</i> .....	26
<b>2.4</b>	<b>Áreas úmidas: sistemas dinâmicos e sua importância ambiental</b> .....	26
<b>2.5</b>	<b>Inserção do sistema fluvial do rio Branco no contexto da Amazônia: características gerais da área de estudo</b> .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	36
<b>3.1</b>	<b>Sistema de classificação morfogenético</b> .....	36
<b>3.2</b>	<b>Metodologia de mapeamento</b> .....	37
<b>3.3</b>	<b>Análises hidrológicas e sedimentológicas</b> .....	38
<b>3.4</b>	<b>Levantamento florístico do rio Branco</b> .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	43
<b>4.1</b>	<b>Ambientes denudacionais e agradacionais, uma primeira aproximação para o Estado de Roraima, norte da</b>	

	<b>Amazônia.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Aspectos dinâmicos do sistema fluvial do rio Branco, Estado de Roraima, Amazônia Setentrional.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Sistemas lacustres não fluviais do lavrado, região nordeste do Estado de Roraima.....</b>	<b>44</b>
<b>4.4</b>	<b>Compartimentação das bacias dos rios Uraricoera e Tacutu, Roraima, com base em parâmetros geomorfométricos do relevo.....</b>	<b>44</b>
<b>4.5</b>	<b>Biogeografia e contribuições à classificação das áreas úmidas de Roraima: exemplo da florística da planície fluvial do rio Branco.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>159</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>162</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Abordagem Temática

Este estudo está inserido na temática de estrutura e funcionamento da hidrodinâmica das áreas úmidas do Estado de Roraima. Enfoca como as características fisiográficas e os padrões periódicos de inundação se comportam nos diferentes ambientes da bacia hidrográfica do rio Branco.

Sobre as áreas úmidas da Amazônia, domínio o qual a região de estudo está inserida, estas são mantidas pela precipitação pluvial de forma direta, pelo sistema fluvial ou por ambos. São áreas dependentes do clima, da topografia e do sistema de drenagem. Podem ser observadas duas fases nestas áreas, uma terrestre e outra aquática. Dentre estes ambientes amazônicos úmidos encontram-se as várzeas, os igapós, as campinaranas e as veredas de buritis do norte da Amazônia (CARVALHO; CARVALHO, 2012).

As distribuições das espécies de plantas nestes ambientes e as fisionomias da vegetação destas áreas são influenciadas por diversos fatores, os mais importantes são: a duração das fases terrestre e aquática; a estabilidade física do ambiente influenciado pela sedimentação, os processos erosivos, a correnteza e ação de ondas dos sistemas fluviais; os processos sucessionais das plantas relacionados com a duração de vida destas e a idade do ambiente; bem como a forte influência dos impactos humanos (JUNK; PIEDADE, 1997).

O Estado de Roraima, localizado no centro norte da Amazônia, possui uma área de 224.300 km<sup>2</sup>, inserido integralmente na Amazônia, abrange 3% do total deste domínio morfoclimático. Um domínio morfoclimático caracteriza-se por ser uma área de dimensões subcontinentais, com padrões característicos interrelacionados entre as condicionantes climática, topográfica, drenagem, pedológica e vegetacional (AB'SABER, 1967). Os ambientes das áreas úmidas são constituídos por relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com nível de base local representado pela formação de sistemas lacustres pelo solapamento do manto de intemperismo (saprólito) e planícies fluviais bem desenvolvidas.

De forma abrangente, dois grandes sistemas inter-relacionados são identificados na região do estudo: áreas úmidas drenadas por sistemas fluviais e lacustres florestada (porte arbóreo denso - vegetação ribeirinha ou aluvial - planície fluvial) e áreas úmidas abertas, com vegetação esparsa, predominantemente arbustiva-herbácea com palmáceas (predomínio da *Mauritia flexuosa* - veredas), drenada por igarapés e lagos perenes/sazonais, região do lavrado

e campinaranas, as quais são constituídas por uma planície de aplainamento sedimentar localizadas no nordeste e no centro sul de Roraima.

Estas áreas úmidas amazônicas têm relevante importância ecológica e socioeconômica. Estes ambientes funcionam como fontes primárias para as cadeias tróficas e mantêm a diversidade de peixes, interferem na ciclagem de nutrientes entre os sistemas aquáticos e terrestres, bem como influenciam no ritmo de crescimento da vegetação, além de serem favoráveis à piscicultura, plantio irrigado e dessedentação de animais (JUNK, 1997; JUNK et al., 2000; RICHEY et al., 2002; MELACK et al., 2004; FEARNSSIDE, 2006).

Com relação ao tema, os estudos aqui apresentados possuem informações que somadas a outras, irão contribuir para fortalecer o entendimento que temos sobre os ambientes que são periodicamente alagados nesta porção da Amazônia. Esta contribuição pode ser focada sob o aspecto acadêmico, no sentido de adquirir um conhecimento novo e sob o aspecto da aplicação do conhecimento gerado, sendo importante para contornar problemáticas de gestão territorial e ambiental, servindo de base metodológica para a caracterização dos aspectos fisiográficos da paisagem e o entendimento de sua dinâmica espaço-temporal.

## **1.2 Problemática**

Trata-se de uma região insuficientemente descrita, e há poucos relatos de como funcionam os processos hidrogeomorfológicos e suas interações com suas morfologias associadas na bacia hidrográfica do rio Branco. Neste sentido, é necessário pesquisas dentro desta temática para a classificação, valorização, e dar subsídios para que demais ações possam ser realizadas com intuito do gerenciamento e planejamento territorial de Roraima.

Estudos como este possibilitam condições de estabelecer critérios de avaliação para o planejamento e gerenciamento do uso de ambientes de áreas úmidas, por exemplo, lagos e áreas insulares, os quais são dinâmicos, e vulneráveis à ação humana. São ambientes os quais necessitam de uma atenção do poder público, com intuito de caracterizar e gerenciar as ações da população, a qual faz uso destes ambientes.

São várias as questões das quais podem direcionar para um melhor entendimento dos ambientes que formam a bacia hidrográfica do rio Branco, neste intuito, esta pesquisa visa em responder algumas perguntas como: *a) De que forma a bacia hidrográfica do rio Branco está inserida no Estado de Roraima, levando em consideração seus aspectos geomorfológicos relacionados aos ambientes denudacionais e agradacionais? b) Como se dá a dinâmica hidrogeomorfológica do rio Branco e sua relação com os aspectos biogeográficos, neste*

*caso, será se a vegetação pode fornecer subsídios para uma classificação? c) Como se caracterizam as áreas úmidas da bacia hidrográfica do rio Branco, e de que forma podem contribuir para um melhor entendimento da dinâmica deste sistema fluvial?*

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo Geral***

Elaborar uma classificação morfogenética dos ambientes agradacionais e denudacionais de Roraima e sua inserção na bacia hidrográfica do rio Branco, com intuito de caracterizar seus diferentes compartimentos geomorfológicos e dos processos morfológicos e hidrológicos associados à planície fluvial do rio Branco, fornecendo subsídios para uma classificação regional destes ambientes.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- I) Mapeamento e caracterização dos ambientes denudacionais e agradacionais de Roraima e associação com a bacia hidrográfica do rio Branco;
- II) Compartimentação e caracterização hidrológica do rio Branco;
- III) Caracterização dos ambientes lacustres não fluviais do alto rio Branco;
- IV) Compartimentação da alta bacia hidrográfica do rio Branco e seus aspectos geomorfométricos;
- V) Análise florística e classificação do rio Branco no viés da biogeomorfologia;

### **1.4 Área de Estudo**

Esta pesquisa tem como área de interesse a região da bacia hidrográfica do rio Branco, com foco no sistema fluvial e respectivas áreas úmidas que formam esta bacia hidrográfica, a qual drena aproximadamente 80% do Estado de Roraima, sendo uma área de abrangência significativa a qual drena praticamente todo o Estado (Figura 1).

O Estado de Roraima está localizado no centro norte da Amazônia, o qual possui uma área de 224.300 km<sup>2</sup>, representando 3% inserido integralmente no domínio do ecossistema amazônico. A bacia hidrográfica do rio Branco, a qual pode ser caracterizada

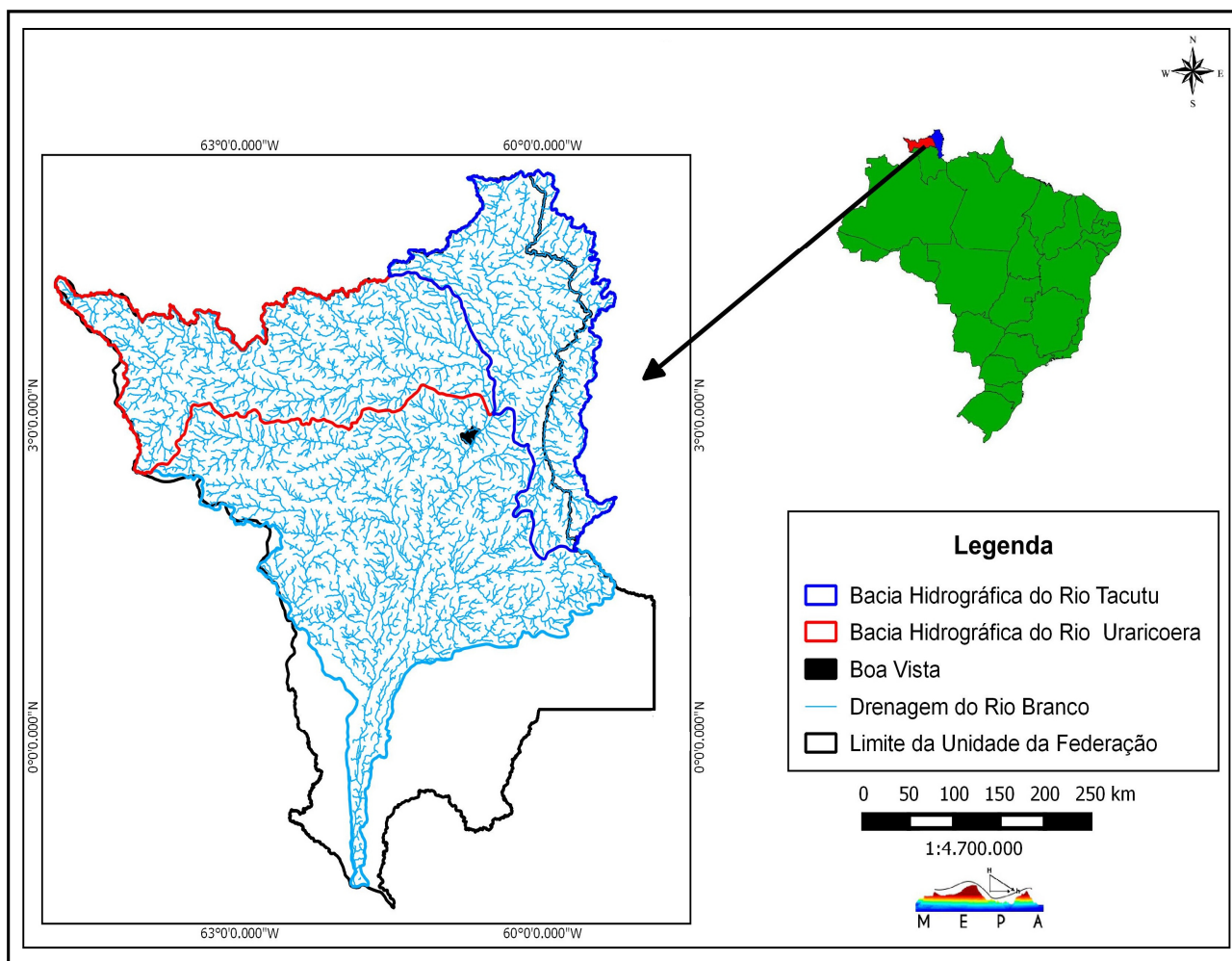
como autóctone no geral, abrange 187.540 km<sup>2</sup>, com exceção dos 12.300 km<sup>2</sup> da bacia do rio Branco que nascem no oeste da Guiana (CARVALHO; CARVALHO; MORAIS, 2016).

O principal rio é o Branco, afluente da margem esquerda do rio Negro. Considera-se rio Branco a partir da confluência dos rios Uraricoera e Tacutu, cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista, o qual flui por 570 km até a foz com o rio Negro (Figura 2).

O rio Uraricoera tem nascentes na região das serra Parima e Pacaraima, flui no sentido geral para NW-SE, com uma bacia de drenagem abrangendo 49.630 km<sup>2</sup>. Os principais afluentes do Uraricoera são os rios Paricaranã, Amajari e Parimé, todos pela margem esquerda.

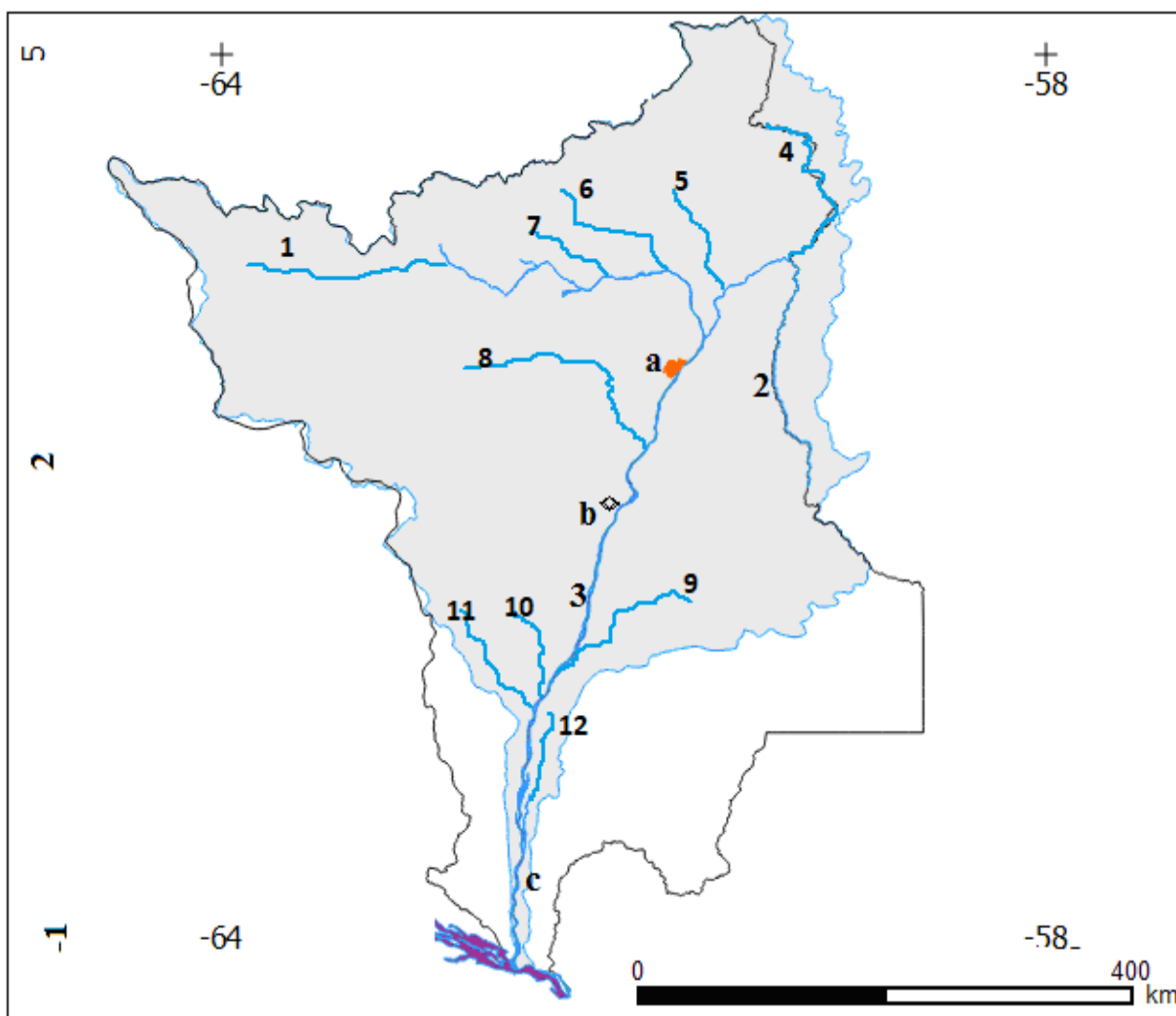
O rio Tacutu nasce na região da Serra Wamuriaktawa na Guiana e flui para o norte, ao longo da fronteira Brasil-Guiana em quase toda a sua extensão, controlado pela fossa tectônica (graben) do Tacatu, onde sofre um desvio para oeste na região do rio Ireng. Sua bacia hidrográfica abrange 42.520 km<sup>2</sup>. Os principais afluentes do Tacutu são os rios Surumu e Ireng, ambos pela margem direita.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Branco, Roraima.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 – Destaque da bacia hidrográfica do rio Branco e os principais rios do Estado de Roraima.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – rio Uraricoera; 2 – rio Tacutu; 3 – rio Branco; 4 – rio Ireng; 5 – rio Surumu; 6 – rio Parimé; 7 – rio Amajari; 8 – rio Mucajaí; 9 – rio Anauá; 10 – rio Água Boa do Univini; 11 – rio Catrimani; 12 – rio Itapará; a – Boa Vista; b - Caracará; c – Santa Maria do Boiaçu.

Os principais afluentes do rio Branco pela margem esquerda são os rios Quitauaú e Anauá (alto Branco), trecho do rio Branco cuja planície fluvial é pouco desenvolvida, com largura média de 4 km, canal retilíneo (sinuosidade < 1.5) e significativo potencial energético na região do Bem Querer, com afloramentos rochosos onde há uma quebra do gradiente longitudinal (Figura 3); e o rio Itapará no baixo rio Branco, cuja planície fluvial é mais desenvolvida, com sistemas lacustres associados à paleocanais. Os afluentes da margem direita são os rios Cauamé e Mucajaí (alto Branco); e no baixo Branco os rios Catrimani e Água Boa do Univini.



Figura 3 – Afloramentos rochosos do trecho encaixoeirado do Bem Querer, trecho próximo a cidade de Caracaráí, transição do alto para o médio rio Branco.



Foto: Acervo próprio.

A estação chuvosa na região da alta bacia hidrográfica do rio Branco inicia-se entre abril-maio e estende-se até agosto-setembro, com uma média pluviométrica na região em estudo de 1650 mm/ano, sendo a média no início da estação chuvosa de 210 mm/ano (Abril-Maio); em Junho-Julho no período de máxima precipitação, com médias de 330 mm/ano (Junho-Julho) e Agosto-Setembro retornando ao período de estiagem com médias de 140 mm/ano (dados analisados para o período de 1910 a 2010) (Apêndice 2).

Durante o período chuvoso o rio Branco sobe aproximadamente entre ~6 a 8 metros na cidade de Caracaráí, trecho que segmenta alto do médio rio Branco; e ~8 a 12 metros na vila de Santa Maria do Boiaçú (trecho final do baixo rio Branco), com vazões variando entre ~8.000 a 13.000 m<sup>3</sup>/s próxima a foz com o rio Negro. No período de estiagem, na cidade de Caracaráí, a vazão média fica em torno de ~1400 m<sup>3</sup>/s. Com relação a carga de sedimentos em suspensão, em média o rio Branco transporta aproximadamente 45 mg/l, com

mínimos na estiagem com cerca de 10 a 20 mg/l e picos na cheia de 70 a 80 mg/l (Apêndice 2).

A hidrografia regional atua como um importante sistema modelador destes ambientes paisagísticos de Roraima, dissecando o relevo na direção predominante NE-SW, e que deve ser levada em consideração ao descrever os ambientes de Roraima (Apêndice 1).

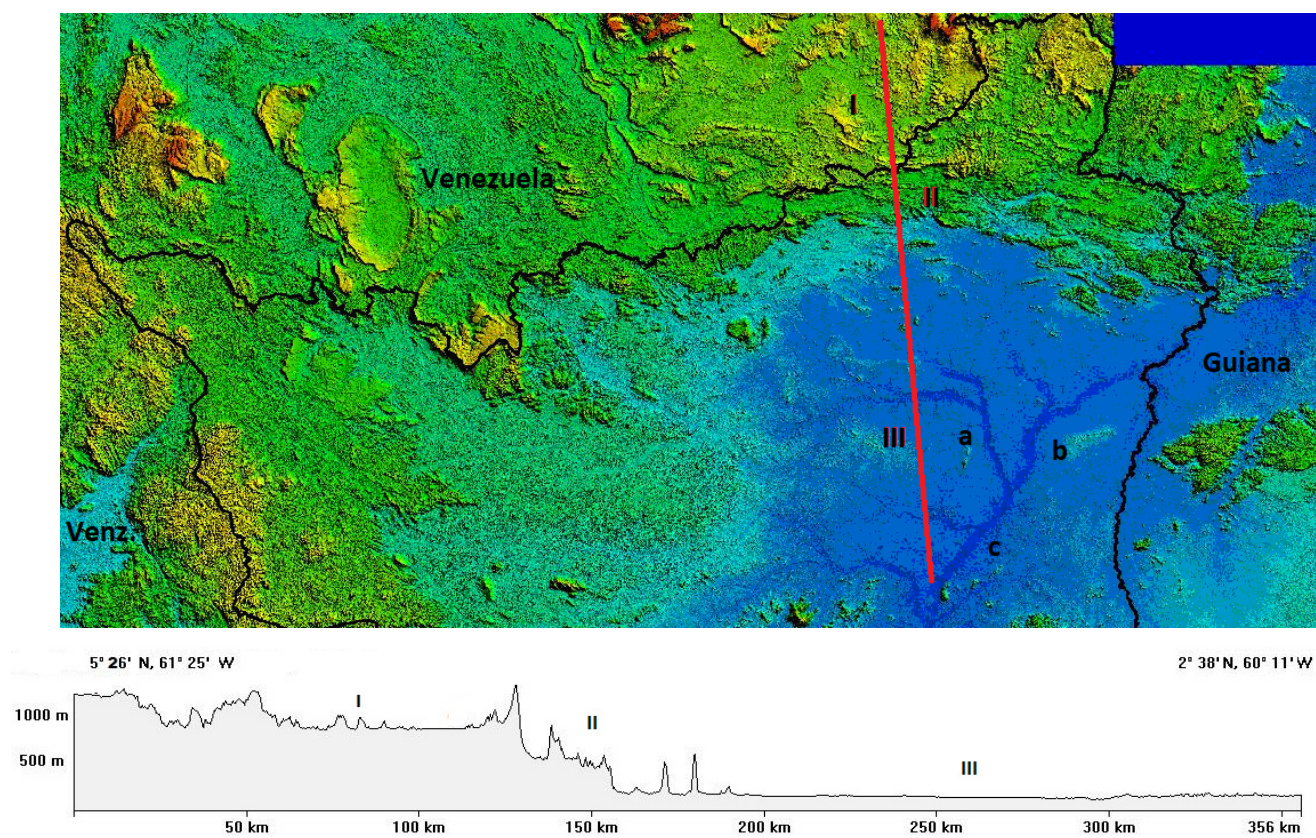
Conforme o estudo do apêndice 1, destaca-se três compartimentos de aplainamento modelados pela drenagem do rio Branco (Figura 4 – Apêndice 1 ). Um compartimento com cotas acima de 800 metros na região fronteira com a Venezuela. Neste compartimento serrano predominam as morfologias tipicamente denudacionais, com dissecação forte e controle estrutural, vales encaixados, serras formando *hogbacks*, *inselbergs* e formações tabulares (*tepuyes*), as quais estão associadas a antigas superfícies regionais de aplainamento (exemplo o Monte Roraima; Kukenan-tepui e o Tepequém).

Um segundo compartimento, intermediário, com cotas entre 200 a 800 metros, intercalado por morfologias típicas denudacionais e agradacionais (prevalendo a primeira), é aplainado pelos rios Uraricoera, Cotingo e Surumu. Neste trecho estes rios possuem uma incipiente planície fluvial, com trechos encaixados devido aos controles estruturais no contato do escudo das Guianas (relevo cristalino) com a Formação Boa Vista (sedimentar).

Um terceiro compartimento, com predominância de feições agradacionais, representa o nível de base regional de Roraima, controlado pelo sistema de drenagem do rio Branco, desenvolvendo-se no sentido geral NE-SW. É caracterizado pelos sistemas lacustres do lavrado e por áreas alagadas no centro-sul do Estado (campinaranas). Os principais rios formam pelo menos 17.500 km<sup>2</sup> de área úmida. Também destacam-se na paisagem as formações de sistemas lacustres fluviais e os desconexos destes, formando ambientes periodicamente alagáveis. Por exemplo, no lavrado estes formam um sistema hidrogeomorfológico e ecológico interconectado por campos e igarapés com 11.340 km<sup>2</sup> de extensão, constituindo morfologias típicas de sistemas deposicionais. As campinaranas no centro-sul de Roraima abrangem cerca de 8.000 km<sup>2</sup>, são áreas com extensos depósitos aluvionares e planícies fluviais bem desenvolvidas, trecho em que a planície do rio Branco possui 12 km de largura, em cotas altimétricas inferiores a 80 metros.

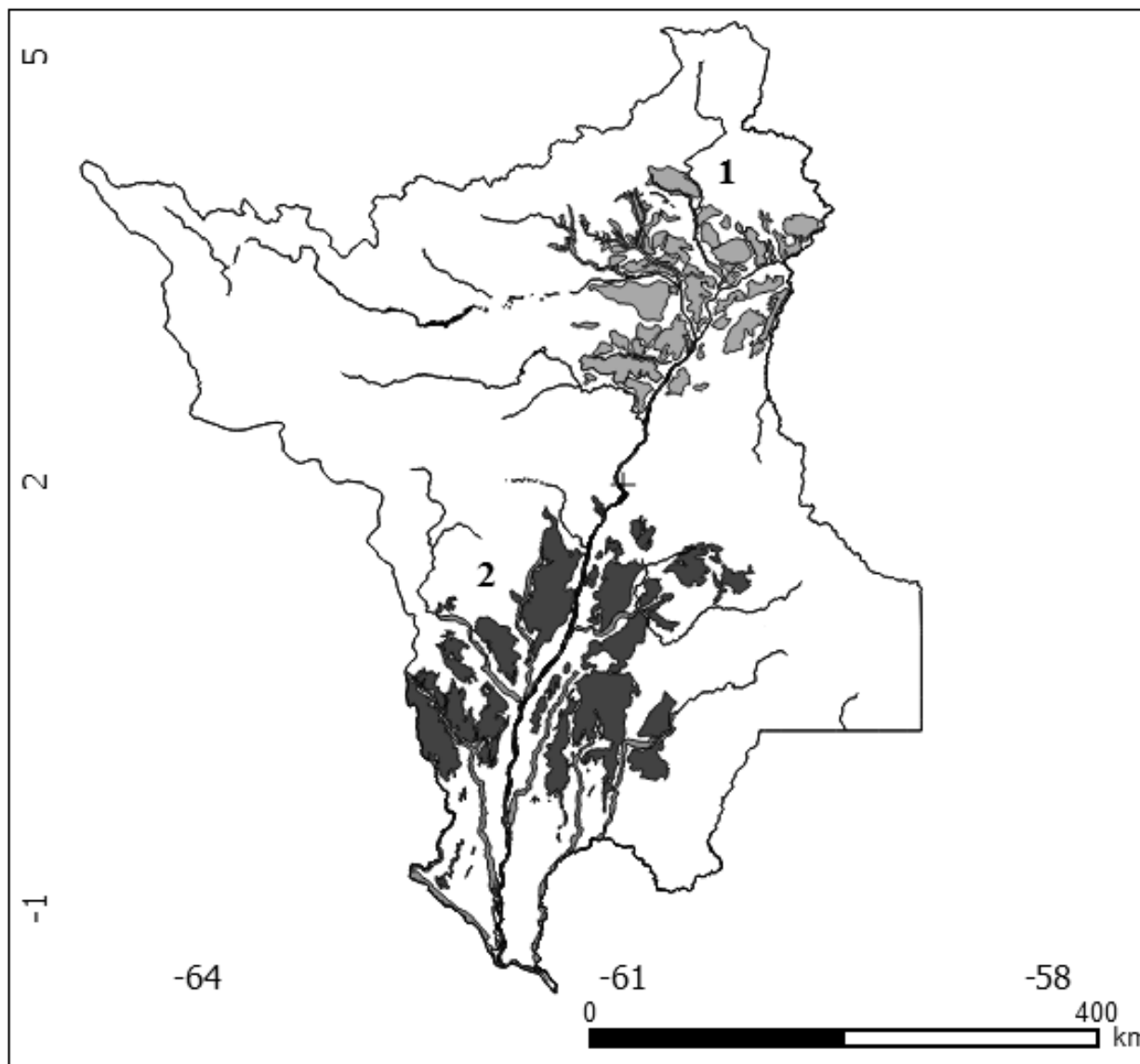
Estas áreas úmidas em Roraima, levando em consideração somente rios com planícies fluviais desenvolvidas, campos com sistemas lacustres, e áreas de influência de buritizais, ocupam uma área de 36.840 km<sup>2</sup> (Figura 5) (Apêndice 1).

Figura 4 – Imagem altimétrica (SRTM) e perfil topográfico ilustrando os três compartimentos (indicados na figura sendo I, II e III), conforme discutido no apêndice.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1. a) rio Uraricoera; b) rio Tacutu; c) rio Branco, próximo a Boa Vista.

Figura 5 – Destaque das áreas úmidas de Roraima e os principais rios.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – sistemas lacustres do lavrado; 2 – áreas alagadas do centro-sul (campinaranas). (Fonte do autor).

### 1.5 Estrutura da Tese

Esta tese está estruturada em um formato o qual apresenta os resultados formatados nos moldes de artigos científicos, com as divisões clássicas contendo os itens de *introdução*, *metodologia*, *resultados* e *discussão* pertinentes ao tema desta tese (APÊNDICES 1 a 5).

Os títulos e breve comentário sobre os artigos estão apresentados no item “4. Resultados e Discussão”. Com relação às temáticas dos artigos, estes abrangem os seguintes temas: classificação dos ambientes denudacionais e agradacionais de Roraima; aspectos

hidrológicos e dinâmicos do rio Branco; características e classificação dos sistemas lacustres não fluviais do Nordeste de Roraima; morfometria da drenagem do alto rio Branco; e florística do rio Branco como apoio à classificação sendo um ambiente típico de várzea ou de igapó. Estes resultados estão nos apêndices de 1 a 5.

No final da tese, após a apresentação dos artigos, foi inserido o item "5. Conclusões" (p.162) o qual retrata uma conclusão geral dos artigos apresentados, fazendo o fechamento da tese.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Bacia hidrográfica como sistema geomorfológico**

Estudos voltados para análises da dinâmica hidrogeomorfológica são importantes para o entendimento dos processos dinâmicos de bacias hidrográficas. Uma bacia hidrográfica pode ser compreendida como um sistema aberto, com entrada e saída de energia e matéria, a qual converte-se através da rede de drenagem, em um sistema modelador da superfície terrestre, removendo material sedimentar, nutrientes, água (etc.) através das vertentes (fluxos de água) com uma saída, o exutório (BRIDGE, 2003; BAYER; CARVALHO, 2008; CARVALHO, 2014; CARVALHO, 2015).

Os fluxos podem ser pela superfície, canalizados (rios, riachos, igarapés, arroyos – termos conexos à cultura da região), dispersos (laminares), em pequenos sulcos (temporários) ou gerando futuras ravinas em estágios iniciais de um novo canal incipiente; assim como pela subsuperfície, infiltrados nas camadas rasas (freático superficial), percolados nas rochas, camadas mais profundas (aquíferos), em processo de rebaixamento do relevo contínuo (BRIDGE, 2003; CARVALHO, 2014).

Dependendo das características fisiográficas da bacia, os processos morfológicos são significativos em zonas de alta energia (morfologias denudacionais – dominadas pelo controle estrutural – tectônico), ou em zonas de baixa energia (morfologias agradacionais) controladas por sistemas fluviais bem desenvolvidos, com constante mobilidade sedimentar formando barras arenosas e ilhas, acarretando em dinâmicas morfológicas diferenciadas destes ambientes (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006; CARVALHO, 2015).

O transporte de sedimentos e materiais solúveis, que corresponde ao transporte fluvial de massa (matéria) numa bacia de drenagem, é o fator dominante no balanço hidrossedimentológico (equilíbrio dinâmico do que entra e sai no sistema). O material

transportado pelo sistema de drenagem caracteriza-se pela carga sedimentar de fundo (areias em forma de dunas fluviais e barras arenosas), por suspensão (carga sedimentar suspensa no fluxo da água), e por dissolução (nutrientes dissolvidos na água) (LATRUBESSE; STEVAUX; SEINHA, 2005).

Alterações naturais, como clima e reajuste morfológico constante do canal, além das ações antrópica, alteram o perfil dinâmico de estado “equilibrado” do sistema. Isso promove modificações no fluxo energético de saída, assim como novos aportes de matéria (sedimentos). Estas modificações exigem que o sistema promova adaptações, modificações em busca da retomada do perfil de equilíbrio dinâmico. São processos como mudança de canal (avulsão) gerando paleocanais, lagos e terraços; pode ocorrer a colmatagem (sedimentação de rios e lagos - “assoreamento”), processos erosivos, dentre outros, a depender da escala espacial e temporal. Os processos dinâmicos são dependentes das características físicas das bacias, como morfologia (fisiografia – características da forma do relevo), formato da bacia (índice de forma – alongada, irregular, circular), dimensão (área), padrões de drenagem, cobertura do solo (meio natural), clima, e o tipo de uso (variável antrópica) (KGNITHON, 1998; NANSON; CROKE,1992; LATRUBESSE; STEVAUX; SEINHA,2005).

Schumm em 1977 criou um conceito teórico, através de compartimentos, os quais dividem uma bacia hidrográfica em setores. Estes setores são caracterizados pela predominância e intensidade na atuação dos processos aluviais: erosão, transporte e deposição de materiais. Esta visão simplificada nos ajuda a compreender a dinâmica de processos mais significativos, dominantes, em três zonas ou setores como: zona 1 (produção de sedimentos); zona 2 (transporte) e zona 3 (deposição). As características e tendências das variáveis de ajuste do sistema, em cada um desses setores, reflete a ação conjugada e interligada dos processos operantes em cada uma dessas zonas.

A partir do entendimento de como estão estruturadas as variáveis internas (gradiente, fisiografia, padrões de drenagem, etc.) da bacia hidrográfica, torna-se possível analisar seu comportamento dinâmico. Neste aspecto, a hidrogeomorfologia tem auxiliado na caracterização dos ambientes de áreas úmidas, em especial na relação do sistema biótico/físico, visão da ecologia e sua integração com a geomorfologia.

## 2.2 Sistemas fluviais: agentes modeladores da superfície terrestre

Um sistema fluvial pode ser considerado como um sistema modelador da superfície terrestre, o qual através de uma interligação complexa da rede de drenagem, tem a capacidade de dissecar o relevo e assim gerar novas superfícies de aplainamento, erodindo e transportando sedimentos. É um sistema aberto o qual funciona controlado por diversos fatores, com relações interdependentes complexas e com diferentes escalas temporais e espaciais de atuação.

Esses sistemas são modelados pela variação da descarga (volume de água), tipos de sedimentos transportados, morfologia do canal (variáveis relativas à sua geometria), morfologia do terreno (gradiente) e ao tipo de cobertura do solo. Estes fatores são responsáveis em dar características peculiares aos processos fluviais (erosão/deposição e transporte). Por exemplo, a importância de uma análise regional através do uso e cobertura da terra é imprescindível para a caracterização e compreensão da dinâmica de uma bacia hidrográfica, sendo uma ferramenta relevante para compreendermos o grau de inter-relação dos elementos constituintes da paisagem, suas funções e distribuição numa bacia hidrográfica, como descrito por Morais e Carvalho (2013) correlacionando uso e cobertura da terra aos aspectos dinâmicos geomorfológicos e paisagem.

Os estudos sobre sistemas fluviais tiveram grande avanço envolvendo trabalhos de campo, análises de mapas, fotografias aéreas, imagens orbitais, e experimentos em laboratórios. Dentre estes estudos, destacam-se alguns como as obras de Strahler (1952) e Leopold et al. (1964), Schumm (1977), Knighton (1998), que estabeleceram uma base hierarquizada para os canais de drenagem e modelos teóricos.

O sistema fluvial é um termo designado para um sistema de canais fluviais, de variados tamanhos, os quais se conectam conformando uma bacia de drenagem. A “bacia hidrográfica ou de drenagem”, a qual é limitada por terrenos mais elevadas denominados de “divisores de água”, que contribui com o aporte de água e sedimentos para o sistema fluvial principal e seus afluentes (BRIDGE, 2003).

Com relação ao tipo de ambiente pelos quais drenam os canais fluviais, estes podem ser classificados como do tipo rochoso, em que fluem em rochas do embasamento, trecho o qual está comumente ligado às cabeceiras do sistema fluvial (nascentes), e possuem uma lenta dinâmica de processos geomorfológicos; canais aluviais, sua característica principal é de possuir um leito arenoso, com barras e bancos arenosos formados por material sedimentar transportado pelo sistema fluvial, possuem uma grande variedade de formas, as

quais respondem de formas diferentes às variáveis hidrológicas, climáticas, geológicas, e sedimentares; e por último os canais do tipo semi-controlados, estes apresentam em certos trechos leitos rochosos ou aluvião resistente (BRIDGE, 2003).

Dentre os tipos de canais citados acima, os do tipo aluviais são os mais comuns nos grandes rios, e possuem maior campo para estudos, por apresentarem uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensa, podendo ser analisado processos migratórios do canal (avulsão), estudos da formação de barras e ilhas, processos de erosão e sedimentação, transporte de carga sedimentar, dentre outros.

Segundo Schumm (1977) rios aluviais possuem uma grande dinâmica, devido a fácil erodibilidade de bancos e de seu leito, tornando este ambiente uma das paisagens que mais ocorrem mudanças, logo facilmente afetada por atividades humanas. O rio Branco enquadra-se no tipo aluvial, por esse motivo será dado maior ênfase a este tipo de canal.

Como dito antes os canais aluviais apresentam uma variedade de formas, estas são classificadas em meandriiformes, entrelaçados, anabranching e anastomosados. Alguns autores se restringem somente aos tipos de canais retilíneos, entrelaçados e meandriiformes (LEOPOLD; WOLMAN, 1957; MANGELSDORF; SCHEURMANN, 1990).

Schumm (1977) distinguiu os tipos de canais devido ao critério da carga sedimentar transportada. Três tipos de canais, usando como critério o transporte de carga sedimentar, foram ser discernidos, são eles: i) Com alta taxa de transporte de sedimentos de fundo, promovendo formações de barras centrais, alta relação entre largura/profundidade, elevado gradiente e alta instabilidade (padrão entrelaçado); ii) canais que possuem três formas de transporte, uma caracterizada pelo transporte de sedimentos em suspensão e estável, uma segunda forma caracterizada pelo incremento de sedimentos de fundo e barras de acreção lateral, e uma terceira mais instável, menos sinuoso, com maior predominância de sedimentos de fundo e surgimento de barras centrais (canais meandriiformes); iii) por último, podendo ser de duas formas, uma com predominância de sedimentos em suspensão, baixa relação entre largura/profundidade e baixo gradiente, e uma segunda forma com carga mista (transportando sedimentos em suspensão e de fundo), aumento da relação largura/profundidade, e formação de barras laterais (canais retilíneos).

Para Bridge (2003) é necessário analisar diferentes parâmetros para poder classificar distintos tipos de canais, sendo basicamente definidos pela natureza da divisão do canal em barras ou ilhas dando um aspecto entrelaçado, e pela sinuosidade em diferentes segmentos do canal, assim a principal característica do canal pode ser dividida em canais-únicos e múltiplos canais.



Mais recentemente Ramonell e Amsler (2001), Latrubesse e Franzinelli (2005); e Latrubesse, Stevaux e Sinha (2005) aprofundaram os estudos nos sistemas fluviais sul-americanos. Estes estudos correlacionam os sistemas fluviais de acordo com o suprimento de sedimento e a descarga média anual, clima, regime hidrológico, processos morfogenéticos, hidrológicos e atividades antrópicas. Estes são relatos essenciais para o entendimento do comportamento dos processos fluviais dos grandes rios.

Latrubesse, Stevaux e Sinha (2005) analisando variáveis chaves tais como geometria hidráulica, descarga líquida, relação largura-profundidade ( $w/d$ ), declividade, granulometria e outras, demonstraram que as variáveis utilizadas tradicionalmente não contemplam a verdade dos grandes rios, contestando os métodos tradicionais usados em geomorfologia fluvial, como os citados anteriormente, para caracterizar padrões de canais. Logo, o padrão anabranching seria o último padrão da classificação de canais, juntamente com os do tipo meandricos, estreitos, e entrelaçados.

Por tanto existem divergências na literatura quanto aos critérios usados para definir a classificação de canais, e ainda é um assunto que precisa de maior discussão. Para a maioria dos sedimentólogos o uso da classificação dos tipos de canais como retilíneos e meandriformes, entrelaçado e anastomosados (canais múltiplos) tem sido amplamente aceita (BRIDGE, 2003).

### **2.3 Variáveis que modelam o canal do rio**

Os canais aluviais são controlados principalmente por processos sedimentares e pelo regime do fluxo d'água, a interação entre regime do fluxo e transporte de sedimentos se intensifica nas estações de cheias, estágio em que promovem maiores alterações na morfologia do canal, e em épocas de vazante esta dinâmica é consideravelmente reduzida pela baixa atividade de transporte sedimentar e fluxo de água. Por este motivo, os fatores que modelam um canal aluvial, influenciando diretamente em suas características é a interação mecânica entre o fluxo de água e a carga sedimentar (KELLER; MELHORN, 1978; BRIDGE, 2003).

Leopold e Maddock (1953) identificam três parâmetros chave para estudar as propriedades do canal fluvial, que são a largura, profundidade e velocidade do fluxo; e estes são facilmente controladas em função de variáveis como o regime do fluxo, descarga (vazão), declividade, propriedades físicas dos sedimentos, solo, clima, vegetação, dentre outros parâmetros da bacia de drenagem (LEWIN, 1978; BRIDGE, 2003).

No entanto, tem sido frequentemente utilizado a razão entre largura e profundidade ( $w/d$ ) como parâmetro principal na distinção nos tipo de canais, como exemplo a sinuosidade de canais meandriformes é inversamente proporcional à taxa  $w/d$ , porém, esta relação sinuosidade pela  $w/d$  apesar de ser quantitativamente importante, não depende somente deste parâmetro (DIETRICH, 1982).

### ***2.3.1 Sedimentos em Suspensão***

O rio pode transportar certa quantidade de material orgânico e inorgânico, os quais são compostos pela carga em solução e sólida. A carga sedimentar é composta por sedimentos em solução (carga dissolvida) proveniente por intemperismo químico, carga em suspensão e de fundo (carga sólida) proveniente por intemperismo químico e/ou físico, sendo que a concentração destas varia em quantidade, e apresentam problemas particulares para serem analisadas (RICE, 1993; MANGELSDORF; SHEURMANN, 1990).

A fonte de carga em suspensão está vinculada ao processo de erosão, em que o maior aporte de material é gerado nas cabeceiras da bacia de drenagem, incorporando ao canal areias finas, argila/silte (finos) (ORFEU, 1991). Amsler e Prendes (2000) destacam as principais fontes que contribuem para o aporte de carga de lavado (finos) são: declividade da superfície da bacia; cobertura vegetal; tipo de solo; intensidade e distribuição de chuvas; tamanho da gota de chuva.

O material proveniente do fundo que tem a propriedade de permanecer suspenso e assim manter-se por uma extensão considerável, é classificado como carga em suspensão, e é constituído por material arenoso. Sedimentos finos (silte e argila) provenientes das margens (barranco), carreados para dentro do canal são também transportados em suspensão, são finos o suficiente para manter-se na mesma velocidade do fluxo, os quais são classificados como carga de lavado (RICHARDS, 1985; MERTES, 1990; BRIDGE, 2003). A concentração da carga de lavado não varia muito no fundo até a superfície, mantendo-se em suspensão mesmo em fluxos lentos, ao contrário dos sedimentos provenientes do leito que entram em suspensão, e apresentam uma diferença significativa do fundo à superfície (BRIDGE, 2003).

Carvalho (1994) cita alguns problemas e benefícios referentes aos sedimentos em suspensão. Com relação aos problemas temos a degradação do uso da água para consumo, redução da penetração da luz solar e diminuição da atividade de fotossíntese, prejuízo para algumas espécies de peixes e prejuízo para a navegação e hidroelétricas. Com relação aos benefícios temos a redução da ação erosiva da água, atuação como redutor de alguns tipos de

poluentes, possibilidade de uso em aterros, obtenção de cal, cimento e ferro, atua como meio condutor para microorganismos e outras matérias orgânicas que contribuem para manutenção da fauna e flora fluvial.

Em um curso fluvial o transporte de sedimentos suspensos é formado pela carga de lavado e por sedimentos provenientes do fundo. A concentração varia verticalmente para a carga de sedimentos suspensos provenientes do fundo, com elevada concentração próxima ao leito, decrescendo gradativamente para superfície; a carga de lavado (finos) possui uma concentração vertical homogênea (RICHARDS, 1985; CARVALHO, 1994). Em geral os rios aluviais transportam maiores concentrações de sedimentos em suspensão, para Amsler e Prendes (2000) a carga de lavado é a principal.

As velocidades do fluxo varia na vertical (da superfície ao leito), transversal (de uma margem a outra) e temporalmente (picos de cheias e vazantes), sujeitas a velocidade do fluxo de água, e de seu peso, sendo variáveis importantes para o transporte de carga sedimentar em suspensão. Esta variação de sedimentos em suspensão na vertical ocasiona diferentes zonas, camadas, de concentrações dos sedimentos no canal.

Com relação ao transporte de sólidos, Richards (1985) estabelece que este não é somente controlado pela descarga do canal, mas sim pela associação das características do fluxo, como velocidade do fundo, estresse de cisalhamento ou potência do fluxo. Para a carga de lavado, esta não é normalmente dependente da potência do fluxo para ser transportada, já que fluxos de baixa potência podem transportar facilmente carga de finos, ao contrário os sedimentos em suspensão provenientes do fundo necessitam de fluxos mais turbulentos para manterem-se em suspensão (AMSLER; PRENDES, 2000).

Segundo Orfeu (1994) podemos classificar quatro tipos de transportes em suspensão: i) suspensão incipiente – meio termo entre saltação e suspensão; ii) suspensão intermitente – movimentos próximos ao leito e em constante troca de material com este; iii) suspensão gradual – as partículas locomovem-se ordenadas na corrente aumentando desde o fundo em tamanho e quantidade; iv) suspensão uniforme – as partículas em suspensão têm distribuição homogênea no fluxo, sem contato com o leito.

Para realizar as medições de transporte de sedimentos em suspensão, é necessário conhecer a concentração e a descarga líquida (CARVALHO, 1994). Existem para isso alguns equipamentos úteis para a coleta de sedimentos, assim como equipamentos que medem automaticamente a concentração de sedimentos “in situ”.

### 2.3.2 *Sedimento de Fundo*

Os sedimentos de fundo é a carga sedimentar proveniente de processos erosivos, porém, situam-se junto ao leito do rio formando leito aluvial, a qual tem uma relação direta com a geometria hidráulica do canal e contribuindo com a morfologia perfil longitudinal do canal (STEVAUX *et al*, 2004).

As análises das características da carga de fundo, como a granulométrica, a morfologia do leito, e as propriedades do fluxo da água, são importantes variáveis para determinar o transporte da carga de fundo, dentre outras análises que servem como parâmetros a pesquisadores em geomorfologia fluvial, engenharia (hidráulica fluvial) e às ciências ambientais, para o entendimento do comportamento morfológico/hidráulico do rio (MANGELSDORF; SHEURMANN, 1990; STEVAUX *et al*, 2004). Embora as proporções de carga de fundo em relação à carga em suspensão sejam aproximadamente 5%-10% , podendo passar 50% (quando a maior parte do sedimento é muito grossa) do total de sedimentos no canal, este continua sendo o grande agente modelador do canal.

O transporte dos sedimentos está diretamente relacionado às propriedades hidrodinâmicas do rio. Os sedimentos de fundo formam uma camada irregular que se deslocam junto ao leito do canal por colisões intergranular geradas pelo fluxo turbulento (CAMENEN;LARSON, 2005). De acordo com a relação entre o tamanho das partículas de fundo e a capacidade da corrente para transportá-las, os sedimentos de fundo podem ser transportados de três formas: i) arrasto – as grãos rolam ou escorregam (deslizam) maior parte do tempo em contato com o leito; ii) saltação – os grãos “pulam” devido à correnteza ou pelo impacto de outros grãos, sendo decantada mais a frente; iii) suspensão – os grãos dão saltos maiores e são sustentados pelo fluxo turbulento que age em duas componentes (vertical e horizontal). (RICE, 1993; CARVALHO, 1994; AMSLER; PRENDES, 2000).

O deslocamento dos grãos (sedimentos não coesivos) e a velocidade do fluxo estão diretamente relacionados com a morfologia do canal. Estudos revelaram a existência de sete tipos de formas de leito, as quais em sequência vão de um fluxo lento ao turbulento (baixa velocidade a altas velocidades): i) ripples – pequenas ondulações (10cm de altura e 60cm de comprimento) ; ii) baixo estágio plano – incremento no tamanho dos grãos (>0,7mm) ocorre um estágio plano ; iii) formas acumuladas (aglomerados) – ocorre um aumento na rugosidade do leito devido ao incremento de grãos maiores, formam-se aglomerados de grãos ao redor de outros maiores; iv) camadas laminares – formas de ondas (0,2 a 2,0 m) ; v) dunas – formas de dunas similares aos ripples, porém maiores ; vi) alto

estágio plano – formado por uma serie de camadas planas de material arenoso grosso ; vii) antidunas – formas de dunas deslocando-se a montante e a jusante em um fluxo supercrítico (MAZUMDER, 2003).

### 2.3.3 Vazão

Por vazão entende-se o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em m<sup>3</sup>/s. Os métodos utilizados para determinar a vazão podem ser manuais ou automáticos, desde um simples objeto lançado na água para verificar a velocidade que percorre em uma determinada distância, até métodos mais precisos por satélites. Dentre os métodos, destaca-se o uso de correntômetros mecânicos e acústicos. Os mecânicos são aparelhos como o molinete, aparelho manual o qual possui uma hélice e um contador, este registra o número de voltas da hélice (cada volta representa a uma determinada distância) por unidade de tempo. Outro tipo de correntômetro é o acústico, o qual funciona por efeito doppler (ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*), um método automático de medição da vazão.

A partir do entendimento dos processos hidrodinâmicos, sejam por fatores internos à bacia e aos externos, nos dá suporte para compreender sobre a dinâmica entre os elementos funcionais deste sistema, de como é constituída e como esta estruturado, importante para analisar-mos seu comportamento referente as variáveis internas (gradiente, fisiografia, padrões de drenagem, carga sedimentar, e demais morfologias associadas). Neste aspecto a hidrogeomorfologia tem auxiliado na caracterização dos ambientes de áreas úmidas, em especial na relação do sistema físico/biótico, visão da ecologia e sua integração com a geomorfologia.

## 2.4 Áreas úmidas: sistemas dinâmicos e sua importância ambiental

Dentre as várias abordagens conjuntas entre disciplinas aparentemente afastadas entre si, situam-se no contexto desta pesquisa, as aproximações entre a ecologia e hidrogeomorfologia. Podemos citar como exemplo desta conjugação interdisciplinar ecológica, hidrológica e geomorfológica as áreas úmidas da Amazônia e as influências dos pulsos de inundação sobre a estrutura e a dinâmica de comunidades vegetais que se desenvolvem nas várzeas e igapós (MELLACK;HESS, 2010; JUNK et al., 2013; ROCHA et

*al.*, 2017). Neste mesmo nível estão os estudos sobre fisiografia de paisagens e suas transformações naturais que podem ajudar muito a interpretar respostas obtidas de perguntas que envolvem distribuições geográficas e adaptações das espécies de plantas e animais aos ambientes regionais, cujas aproximações interligam a biogeografia e a geomorfologia (VANZOLINI, 2011; CARVALHO; CARVALHO, 2012).

As áreas úmidas da Amazônia são mantidas pela precipitação, pelo sistema fluvial ou por ambos. São áreas dependentes do clima, da topografia e do sistema de drenagem. Podem ser observadas duas fases nestas áreas, uma terrestre e outra aquática. Dentre estes ambientes amazônicos úmidos encontram-se as várzeas, os igapós, as campinaranas e os buritizais.

As distribuições das espécies de plantas nestes ambientes e as fisionomias da vegetação destas áreas são influenciadas por diversos fatores, como a duração das fases terrestres e aquáticas, a estabilidade do ambiente influenciado pela sedimentação/erosão, correnteza e ação de ondas fluviais, processos sucessionais da vegetação relacionados com a idade do ambiente, além da forte influência dos impactos humanos (JUNK; PIEDADE 1997; JUNK et al., 2013).

Na Amazônia as áreas úmidas abrangem cerca de 600.000 km<sup>2</sup> ao longo da bacia hidrográfica do Amazonas. As florestas periodicamente inundadas são formadas por águas brancas, claras e pretas, onde se desenvolvem a vegetação da várzea e igapó. A várzea abrange cerca de 400.000 km<sup>2</sup> (drenada por rios de águas brancas), e os igapós (drenado por águas claras e/ou preta) cerca de 200.000 km<sup>2</sup> (MELACK; HESS, 2010). As florestas nas áreas de várzeas e de igapós têm características estruturais e florísticas próprias, resultante das diferenças geomorfológicas, hidrológicas e evolutivas, mas principalmente das diferenças nutricionais e químicas.

As áreas úmidas do ponto de vista ecológico funcionam como fontes primárias para as cadeias tróficas e mantêm a diversidade de peixes, interferem na ciclagem de nutrientes entre os sistemas aquáticos e terrestres, bem como influenciam no ritmo de crescimento da vegetação. São também fontes importantes de metano e atuam nos processos de sequestro de carbono, também oferecem refúgios permanentes ou temporários para a fauna de vertebrados terrestres e invertebrados associados a estes ambientes. Do ponto de vista socioeconômico e climático estas áreas são importantes para as atividades agrícolas, pesca e extração madeireira (JUNK; PIEDADE, 1997; JUNK et al., 2013).

Com relação à várzea, são ambientes ricos em nutrientes provenientes dos sedimentos transportados em suspensão por rios de água branca da região andina e pré-

andina. Estes nutrientes quando depositados ao longo das margens formam o solo aluvionar mais rico da Amazônia (JUNK; PIEDADE, 1997). São sedimentos depositados ao longo da planície de inundação formados por argilo-minerais, os quais têm capacidade de reter nutrientes. A várzea possui uma complexa dinâmica morfológica do canal, caracterizando-se como ambiente instável devido às condições geológicas e geomorfológicas. Ambientes próximos às margens dos rios que formam as várzeas podem apresentar taxas de deposição de sedimentos de mais de um metro por ano, e interferem também nos processos erosivos, erodindo grandes áreas de terras com vegetação (terras caídas) durante o período de cheias (WITTMANN et al., 2013). Com base nesta dinâmica de sedimentação e na variação da composição florística no gradiente topográfico, Wittmann et al. (2013) categorizaram a vegetação da várzea em: i) várzea baixa com diversos estágios sucessionais, ii) várzea alta com estágios sucessionais mais tardios, e iii) chavascal.

Ao contrário da várzea, rica em nutrientes, o igapó é formado por sedimentos com baixos teores de nutrientes, conseqüentemente baixo potencial de produtividade. Os sedimentos do igapó são provenientes de terrenos cristalinos, bastante lixiviados, constituídos principalmente por argilo-minerais com baixa capacidade de retenção de nutrientes, drenado por rios de água clara e/ou preta.

Analisar a estrutura da composição e similaridade florística são importantes para compreender a dinâmica de comunidades vegetais de uma determinada área (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974; DEMARCHI et al., 2018). Estes parâmetros são essenciais para interpretar a distribuição das espécies, sendo parâmetros também que auxiliam na classificação e servem como base para comparações entre diferentes tipologias de vegetação, por exemplo, como podemos caracterizar se um rio/planície pertencem à várzea ou igapó?

Um dos parâmetros é o número de espécies (riqueza) por unidade de área, relacionado a diversidade de espécies (PEET, 1974), e que através da amostragem florística, podemos classificar os rios com um viés da fitogeografia.

As florestas das planícies de inundação amazônicas apresentam menor riqueza de espécies vegetais em relação às áreas não inundadas de terra firme da mesma região (WITTMANN et al., 2006). A riqueza de espécies arbóreas na terra firme, com diâmetro à altura do peito (DAP) acima de 10 cm, varia entre 117-300 espécies por hectare, cuja riqueza aumenta de leste para oeste ao longo da bacia hidrográfica do Amazonas (WORBES, 1997; WITTMANN et al., 2002; TER STEEGE et al., 2003). Na várzea a riqueza de espécies arbóreas com DAP > 10 cm varia entre 84-157 por hectare, cuja riqueza também aumenta de

leste para oeste ao longo do sistema Solimões-Amazonas (CATTANIO et al., 2002; WITTMANN et al., 2006).

## **2.5 Inserção do sistema fluvial do rio Branco no contexto da Amazônia: características gerais da área de estudo**

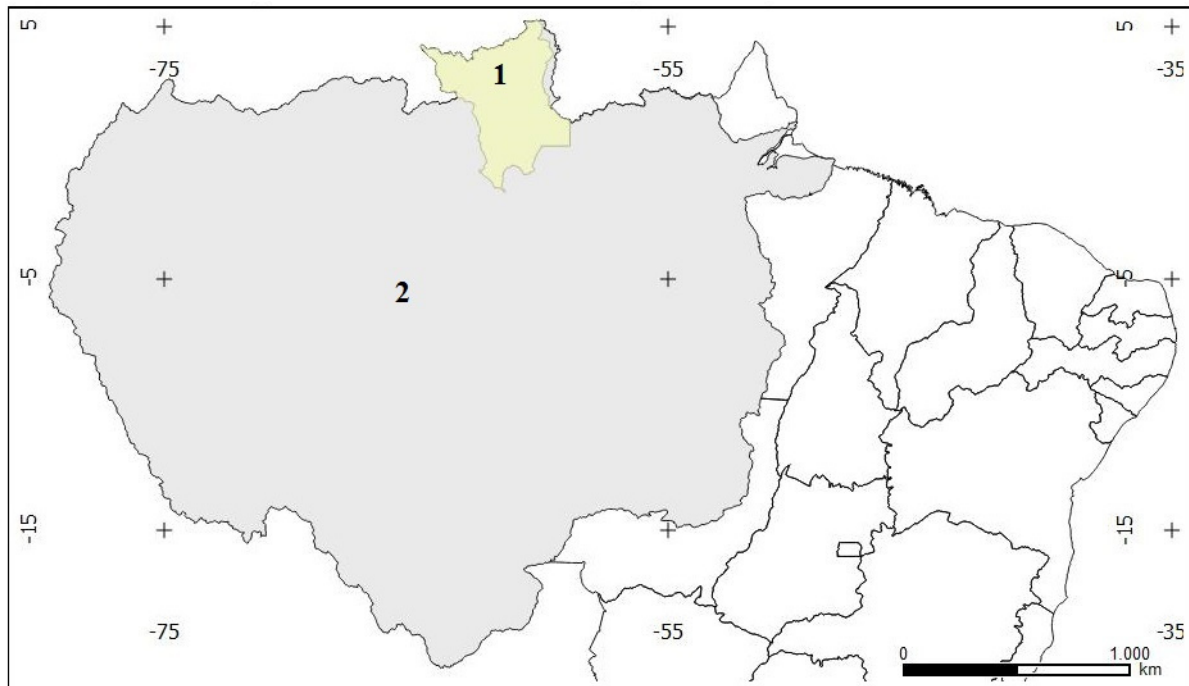
A Amazônia pode ser caracterizada por terras baixas, pela dicotomia entre rios alóctones e autóctones, capeado por solos de baixa fertilidade, basicamente latossolos e podzolos. Região dominada por baixa amplitude térmica, com elevadas temperaturas médias, precipitação bem distribuída, e um complexo sistema vegetacional distribuído em áreas periodicamente inundadas e áreas de terra firme. Estas características formam o domínio morfoclimático amazônico (AB'SABER 1967).

Neste domínio, um complexo mosaico vegetacional, com diversas formações florestais, distribuídas em áreas periodicamente inundadas (igapós e várzeas) e áreas de terra firme formam uma área de aproximadamente 7.5 milhões de km<sup>2</sup>. Aproximadamente 6 milhões de km<sup>2</sup> pertencem a bacia hidrográfica do Amazonas, drenando desde a região da Amazônia andina, com cotas em torno de 4.000 metros, ao oceano atlântico por ~3.000 km de extensão no sentido W-L. Cerca 51% da bacia possui cotas até 200 metros; 32% representam cotas entre 200-400m; 8,3% entre 500-1000; e 8,7% entre 1.000-4.000 metros (APÊNDICE 1).

Dos 6 milhões de km<sup>2</sup> pertencentes a bacia hidrográfica do Amazonas, cerca de 3.8 milhões km<sup>2</sup> estão inseridos no Brasil. Roraima está inserido integralmente na Amazônia, abrange 3% do total deste domínio morfoclimático, apresentando as mais variadas tipologias morfológicas do relevo e vegetação (Figura 6). Abrange morfologias de relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), e relevo acidentado, escarpado, formações tabulares (*tepuyes*) e serranas (*inselbergs; hogbacks*), com morfologias típicas de forte controle estrutural, modelados por intemperismo químico e físico, com predominância de sistemas denudacionais (erosivo) (AB'SABER 1997; SCHAEFER; JÚNIOR 1997; CARVALHO; CARVALHO 2012a)



Figura 6 – Localização do Estado de Roraima (1) em relação a bacia hidrográfica do Amazonas (2).



Fonte: Elaboração própria.

A Amazônia é formada por um mosaico de tipologias vegetacionais, que do ponto de vista fisionômico, pode ser caracterizada por sistemas de áreas abertas e fechadas, respectivamente, unidades composta por vegetação predominantemente arbustiva e herbácea; e de porte arbóreo (floresta ombrófila).

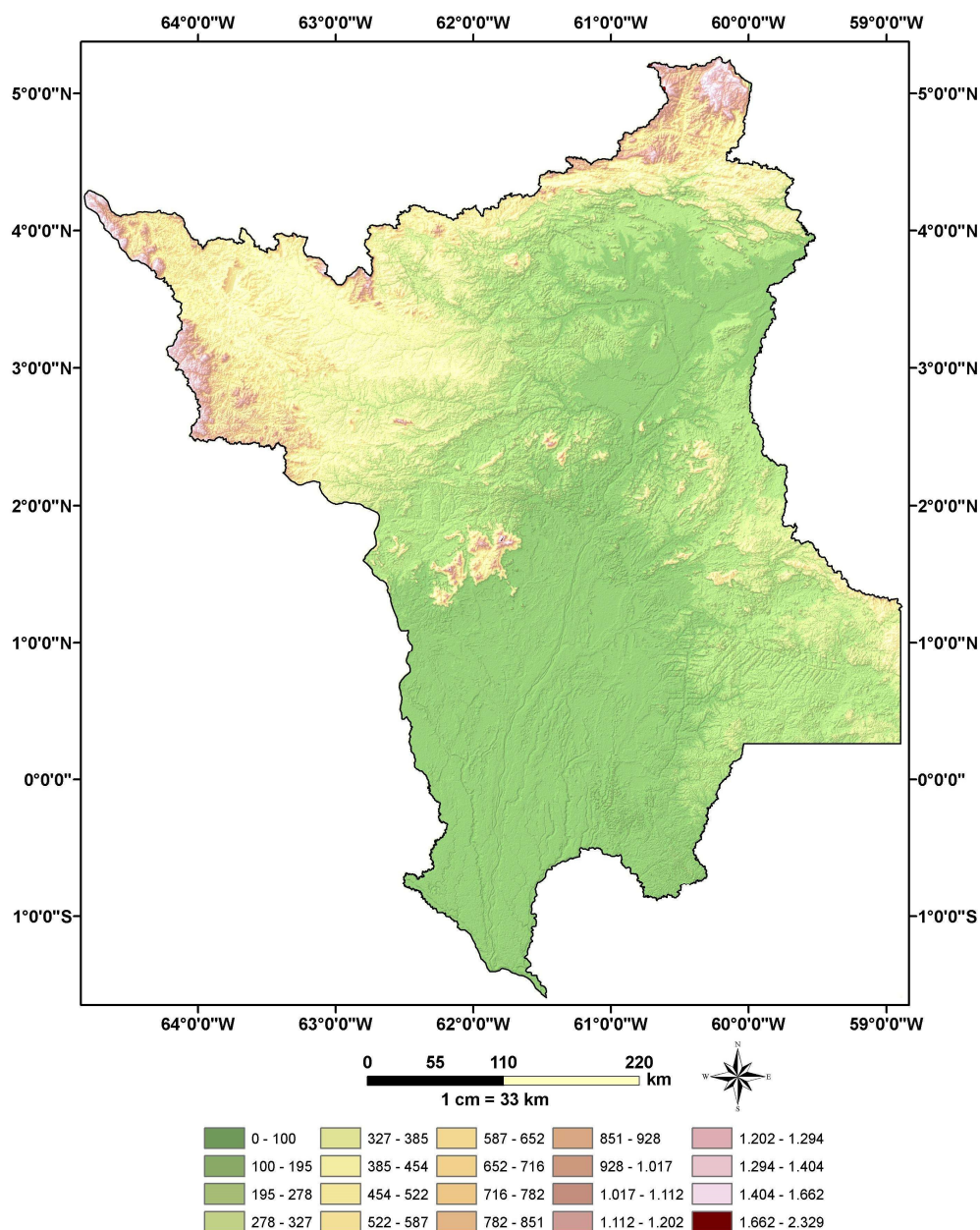
Com relação às áreas abertas, as quais são formações peculiares enclavadas em meio às formações florestais, algumas são similares a outros domínios, por exemplo, ao Cerrado (Brasil Central), Chaco (norte e nordeste boliviano), Llanos Orientales colombiano (região de Orinoquia, nordeste colombiano), Llanos do Orinoco e Gran Sabana (Venezuela). Porém, possuem aspectos diferenciados entre si, tanto da dinâmica ecológica, como do meio físico (relevo; clima; solo), dando características peculiares a cada região (CARVALHO; CARVALHO, 2012a).

Do ponto de vista biogeográfico, estes aspectos morfológicos, vegetacional, áreas abertas e fechadas, são importantes quando consideramos a dinâmica de “retração-expansão” da vegetação durante mudanças climáticas, com desenvolvimento de áreas abertas (arbustivas, herbáceas) durante períodos glaciais, clima seco e frio, e expansão de florestas durante períodos interglaciais, quentes e úmidos na América do Sul durante o Pleistoceno (AB’SABER, 1977; PESSENDA et al., 2009; VANZOLINI, 2011).

Dentre as áreas abertas amazônicas, podemos citar as do rio Trombetas (EGLER, 1960); Negro (DUCKE e BLAKE, 1953); Tapajós (VELOSO et al., 1976), Madeira (MURÇA-PIRES, 1974); no Amapá (MURÇA-PIRES, 1974); além de outras áreas pouco documentadas. Estas áreas abertas, onde predominam formações arenosas, estão associadas aos depósitos de paleodrenagem (aluviões), e depósitos *in situ* do manto de intemperismo de rochas do escudo cristalino, como o escudo das Guianas, que quando trabalhados pelo vento dão origem a feições eólicas, dunas do tipo parabólicas ativas e inativas (paleodunas). Estas áreas merecem uma melhor discussão desde o ponto de vista físico ao biológico, cuja relevância é que são áreas chaves para estudos paleoambientais, são feições discordantes com o clima atual (tropical úmido). Exemplos destas áreas estão nos Llanos do Orinoco (Venezuela), Chaco (Bolívia). Em Roraima destaca-se o lavrado (NE de Roraima) e as campinaranas do sul do Estado, com 43.281 km<sup>2</sup> e cerca de 8.000 km<sup>2</sup> respectivamente, ocupando ~22% do território (MORAIS; CARVALHO, 2014).

O relevo de Roraima é composto por diferentes associações de unidades agradacionais e denudacionais, sendo representativo na região os denudacionais com cerca de 135.000 km<sup>2</sup> (60% do Estado), seguido dos agradacionais 90.000 km<sup>2</sup> (40%). As altitudes variam entre aproximadamente 40 a 2400 metros, sendo que 38% do Estado situa-se entre 40 e 100 metros; 47% entre 100 e 500 metros e menos de 13% acima de 500 metros (Figura 7) (CARVALHO; CARVALHO; MORAIS, 2016).

Figura 7 – Classes altimétricas do Estado de Roraima.



Fonte: Elaboração própria.

Franco et al., (1975) categorizam a região de Roraima em cinco unidades morfoestruturais: Planalto Sedimentar Roraima, Planalto do Interflúvio Amazonas-Orinoco, Planalto Dissecado Norte da Amazônia, Planaltos Residuais de Roraima, e Pediplano Rio Branco-Rio Negro, sendo o Pediplano Rio Branco-Rio Negro com maior expressão espacial, prolongando-se desde o nordeste de Roraima ao sul em contato com o rio Negro, fronteira com o Estado do Amazonas.

O Planalto Sedimentar Roraima e Planalto do Interflúvio Amazonas-Orinoco são unidades situadas em um compartimento com cotas acima de 800 metros na região fronteira com a Venezuela, formada pelas Serras Parima e Pacaraima (Planalto do Interflúvio Amazonas-Orinoco). Neste compartimento serrano predominam as morfologias tipicamente denudacionais, com dissecação forte e controle estrutural, vales encaixados, serras formando *hogbacks*, *inselbergs* e formações tabulares (*tepuyes*), as quais estão associadas a antigas superfícies regionais de aplainamento. Um exemplo desta morfologia é o Monte Roraima, destaque do Planalto Sedimentar Roraima (CARVALHO; CARVALHO; MORAIS, 2016).

O Planalto Dissecado Norte da Amazônia e Planaltos Residuais de Roraima formam um segundo compartimento, com cotas entre 200 a 800 metros, intercalado por morfologias típicas denudacionais e agradacionais (prevalecendo a primeira). Caracteriza-se por ser uma região instável do ponto de vista evolutivo da paisagem, atuando como frente de recuo de escarpa, rebaixando o relevo (dissecando-o) por atividade modeladora dos sistemas de drenagem formando um complexo sistema de serras e morros, o que explica a origem dos *inselbergs* (testemunhos) desta região e dos *tepuyes*. Como descrito por King (1956); Latrubesse e Carvalho (2006) para a região de Goiás, usando a terminologia de zona de erosão recuante. Ocorrem também neste compartimento as planícies fluviais incipientes, com rios encaixados, os quais têm suave caimento em direção ao rio Branco (cabeceiras do rio Branco).

O Pediplano Rio Branco-Rio Negro é composto predominantemente por feições agradacionais, com associações de unidades denudacionais, sendo esta unidade a mais expressiva em Roraima. Ao norte, limita-se com um compartimento mais elevado com altitudes entorno de 800 metros na região serrana (serras Parima e Pacaraima), na fronteira com a Venezuela, dominada por forte controle estrutural. Ao sul limita-se com a planície fluvial do rio Negro no Estado do Amazonas.

Na unidade Pediplano Rio Branco-Rio Negro ocorrem formações de sistemas lacustres nas áreas abertas do Nordeste de Roraima, região campestre denominada de lavrado; e no centro sul de Roraima, região campestre alagada denominada de campinaranas. Estes dois ambientes campestres enclavados no domínio amazônico chamam a atenção por suas peculiaridades. Na região nordeste de Roraima, situa-se uma extensa área aberta, com uma fitofisionomia semelhante aos campos de cerrado do Brasil central, no entanto são ambientes diferentes do ponto de vista hidrogeomorfológico e inclusive do biogeomorfológico (Figura 8). Esta região denomina-se de lavrado, termo regional de relevante importância para descrição do ponto de vista biogeográfico e cultural de Roraima (CARVALHO 2009a;

CARVALHO; CARVALHO 2012a; CARVALHO; CARVALHO; MORAIS, 2016). Os principais rios desta porção são o Uraricoera e o Tacutu, formadores do rio Branco.

A região dos campos do nordeste de Roraima abarca diferenças marcantes em termos de relevo, solo, vegetação e drenagem, abrangendo cerca de 43.000 km<sup>2</sup>. O relevo do lavrado é suave, com cotas em torno de 80-200 metros, formadas por colinas dissecadas, localmente conhecidas como tesos, formas originadas pela dissecação da drenagem em torno dos sistemas lacustres interconectados por igarapés. Ocorrem também serras isoladas, com altitudes entre 300-800 metros. A declividade na região do lavrado varia entre 0°-5°, relevo plano, com baixa energia (CARVALHO; CARVALHO 2012a; CARVALHO; CARVALHO; MORAIS, 2016).

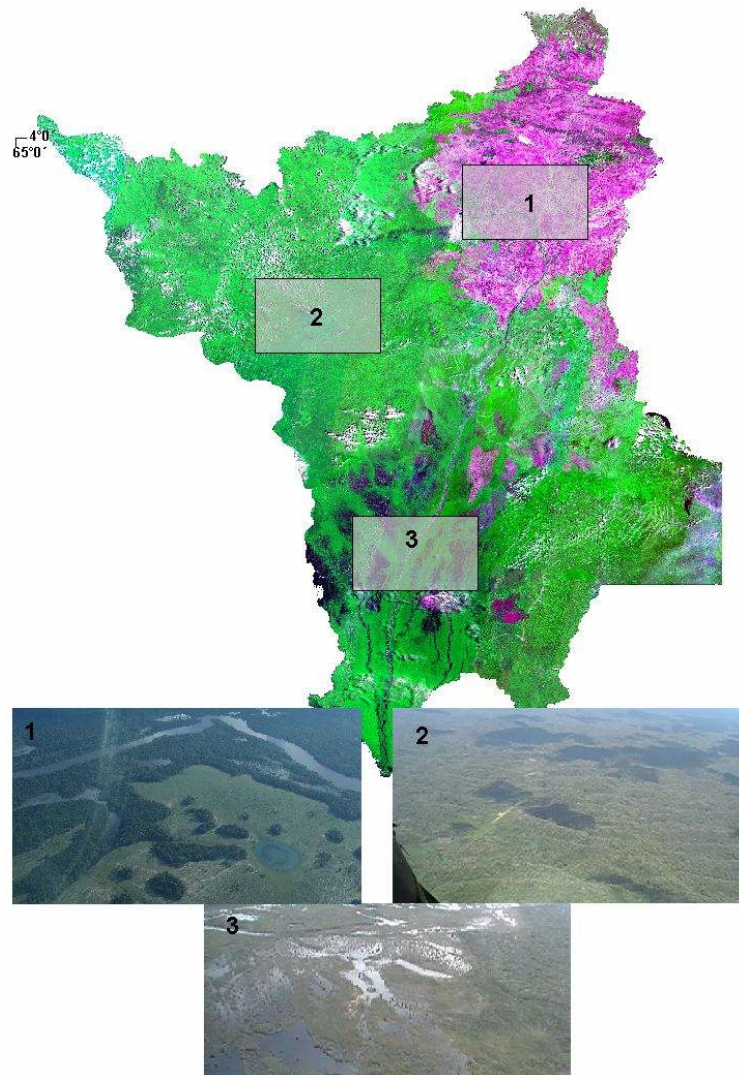
É uma região de aporte de material sedimentar, basicamente arenoso, proveniente das áreas adjacentes elevadas do escudo das Guianas. A baixa energia do relevo na região central do lavrado favorece a formação de um interessante sistema de lagos de formato circular, não fluviais. A formação destes lagos está associada às águas pluviais e ao lençol freático. São lagos sazonais, rasos (0,8 a 2,5 metros no período chuvoso), sendo que na estiagem metade destes secam (MENESES et al. 2007; BARBOSA et al 2007). No período chuvoso formam uma grande extensão de áreas alagadas interconectadas.

Os sedimentos do lavrado são da Formação Boa Vista (Terciário e Quaternário), compostos por areias, argilas e siltes, lateritas, de ambientes flúvio-lacustre (AB'SABER 1997). Estas áreas são recortadas por igarapés intermitentes, os quais chegam a secar em várias locais durante a estiagem (agosto-maio). Associados aos igarapés estão os buritis. A vegetação dos buritizais torna-se mais complexa ao se aproximar das matas galerias dos rios maiores. Recobrimo o solo ocorrem ciperáceas e gramíneas em proporções que podem variar de acordo com a granulometria e a umidade retida no solo (CARVALHO, 2009a; CARVALHO; CARVALHO, 2012a). Relatos sobre a estrutura e composição da vegetação herbáceo-graminosa, arbustos, arvoretas e árvores mais encorpadas do lavrado podem ser encontrados em Barbosa e Miranda (2005), Miranda et al. (2003), Silva (1997), Veloso et al. (1975).

Com relação aos campos do centro-sul de Roraima, unidade também pertencente ao Pediplano Rio Branco-Rio Negro de Veloso et al. (1975), é formada por extensos depósitos aluvionares e planícies fluviais bem desenvolvidas as quais atuam em cotas inferiores a 80 metros. É uma região estável do ponto de vista estrutural, com relevo de dissecação fraca, caracterizado por uma superfície aplainada pelas bacias hidrográficas dos rios Branco, Xeriuni, Jufari e Jauaperi, rios os quais formam extensos terraços fluviais meandriformes no

sul do Estado, todos afluentes do rio Negro. Esta área caracteriza-se por apresentar um terreno predominantemente inundado e com drenagem arreica, formada por solos arenosos, com vegetação arbórea, arbustiva e gramíneas, com ou sem presença de palmeiras. Em alguns locais ocorrem paleodunas, formações de areias brancas provavelmente originadas no último período do Pleistoceno, sob influência da bacia do rio Branco (FRANCO et al., 1975; AB'SABER, 1997).

Figura 8 – Imagem Landsat 8 (OLI)/2015 do Estado de Roraima, com destaque para as três principais tipologias vegetacionais de Roraima.



Fonte: Elaboração e acervo próprio. Legenda: 1 – Campos do NE de Roraima formado por buritizais e vegetação arbustiva e herbácea (lavrado); 2 - Floresta ombrófila mista; 3 – Campos do sul de Roraima, formada por extensos depósitos aluvionares, com vegetação arbustiva e herbácea (campinaranas).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Sistema de classificação morfogenético

O Radambrasil desde a década de 1970 tem sido a base para estudos relacionados à descrição dos recursos naturais no Brasil. Serve de base para levantamentos do meio físico e biótico, no entanto, devido à escala de análise deve-se ter uma precaução no uso desta base. Por exemplo, estudos que requerem escala de análise de maior detalhe, devem estar amparados por levantamentos mais detalhados, com base em novas ferramentas, principalmente às de mapeamento com base no sensoriamento remoto.

Além da atualização de técnicas de sensoriamento remoto, outra questão de fundamental importância são os aspectos metodológicos aplicados na descrição morfológica do relevo, o qual possui várias vertentes. Uma das vertentes utilizadas é de Tricart (1965) a qual foi utilizada no Radambrasil. No entanto, dependendo da classificação utilizada, estas possuem divergências, o que pode ser minimizado com o uso de classificações do tipo morfogenética, ou seja, atribuindo características da forma do relevo e sua origem. Este exemplo de classificação morfogenética foi utilizada no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás por Latrubesse e Carvalho (2006). A importância deste tipo de classificação é a objetividade atribuída no mapeamento, não sendo apenas de toponímia, por exemplo: Planalto Sul-Rio Grandense, mas com uma conotação genética atribuindo uma característica evolutiva da paisagem, por exemplo, Superfícies Regionais de Aplainamento, indicando uma conotação evolutiva da paisagem e respectivos processos associados.

Produtos derivados de sensoriamento remoto, como dados geomorfométricos tem contribuindo significativamente para a descrição da morfologia do relevo (CARVALHO;BAYER, 2008; CARVALHO, 2009b). Tais métodos nos permite interpretar as morfologias do relevo através de formas denudacionais (processos predominantemente erosivos) e agradacionais (processos predominantemente acumulativos/depositacionais).

Outras variáveis importantes na análise fisiográfica da paisagem são por meio da rede de drenagem, classes altimétricas (fatiamento do relevo), declividade, perfis topográficos, sombreamento, estes são uns dos exemplos de variáveis topográficas diretas. Outras variáveis são índices, como os relacionados à geometria (forma), por exemplo, variáveis morfométricas de lagos, bacias, etc., direção das encostas, potencial de erodibilidade do solo, dentre outras, as quais são variáveis topográficas indiretas.

Os sistemas denudacionais se subdividem com fraco ou imperceptível controle

estrutural e com forte (ou marcante) controle estrutural. No caso dos sistemas denudacionais com forte controle estrutural podem ocorrer, por exemplo, blocos falhados e basculados, estratos dobrados gerados por corpos intrusivos, entre outros, como *hogbacks*, *cuestas* e facetas triangulares. Para os sistemas denudacionais com escasso ou imperceptível controle estrutural, pode-se subdividir em dois grandes grupos: sistemas denudacionais de dissecação e sistemas denudacionais de aplainamento. Os sistemas denudacionais de dissecação são os que predominam morfologias erosivas, por exemplo, os atrelados a erosão linear (sulcos, ravinas), e formas convexas como morros (colinas) dissecados. Por vezes são formas suavizadas, porém, com potencial energético de realizar trabalho, neste caso perceptível através de índices, como o gradiente do relevo (grau de inclinação das encostas/vertentes). Um exemplo destas formas são os morros suavizados na superfície de aplainamento do lavrado, nordeste do Estado de Roraima, conhecidos como “tesos” (CARVALHO;CARVALHO, 2012a; CARVALHO;CARVALHO, 2015).

Dentre os sistemas agradacionais, destacam-se os sistemas lacustres mantidos pela planície de inundação, os mantidos por precipitação/oscilação do freático; e os sistemas fluviais, como rios e canais de pequeno porte (primeira e segunda ordem), os quais possuem denominais regionais como córregos, igarapés, arroios. Estes sistemas agradacionais dependem de diversos fatores como topografia (gradiente/declividade), clima (precipitação), solos (textura), litologia (permeabilidade), tectônica (controle estrutural), e os de ordem antrópica. São ambientes os quais se modificam rapidamente, como dinâmica de ilhas e respectivos processos de anexação à planície (Apêndice 3).

### **3.2 Metodologia de mapeamento**

As descrições das morfologias do relevo foram através de sensoriamento remoto, com uso de imagens que permitem identificar formas agradacionais e formas denudacionais. A delimitação da bacia hidrográfica, das planícies fluviais e morfologias associadas a estas foram feitas na escala 1:50.000.

As imagens que permitiram identificar morfologias agradacionais associadas aos sistemas fluviais e lacustres foram às do Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), utilizadas devido à facilidade em diferenciar alvos como corpos d'água (lagos e canais de drenagem) e imagens Jers (*Japan Earth Resources Satellite*), utilizadas pela facilidade em identificar áreas em que a vegetação é afetada pelo nível de água durante o período chuvoso. Foram utilizadas imagens do Landsat 1 (MSS) de 1975 e Landsat 8 (OLI) de 2015 para mapeamento da



dinâmica morfológica do canal do rio Branco (limites da planície fluvial, ilhas e lagos). Para análise pontual, proximidades da cidade de Boa Vista, foram utilizadas fotografias aéreas de 1943 (USAF) com intuito de verificar a dinâmica morfológica deste trecho em particular.

As imagens do Landsat foram selecionadas no banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, para o período chuvoso e estiagem, eliminando as que apresentarem significativa cobertura de nuvens. As imagens do Jers foram adquiridas do projeto Mapeamento Global de Áreas Alagáveis (GRFM), cujas cenas são do período chuvoso e estiagem. A importância da análise destes ambientes para os períodos de estiagem e chuvoso é devido aos diferentes graus de conectividade que estes ambientes possuem, identificando áreas permanentemente alagadas, outras que periodicamente se conectam pelo período chuvoso, estando sazonalmente desconectadas pelo intercâmbio entre as fases terrestres e aquáticas. As fotografias aéreas do levantamento da Força Aérea dos Estados Unidos de 1943 foram obtidas via parceria institucional entre o Laboratório de Métricas da Paisagem (Dep. de Geografia/UFRR) com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

Para a delimitação da bacia hidrográfica, rede de drenagem e identificação dos ambientes denudacionais e agradacionais foram utilizados os modelos de elevação da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - radar interferométrico), reamostrados para resolução espacial de 30 metros e corrigido no algoritmo HAND (*Height Above Nearest Drainage*). Esta correção foi importante para uma melhor definição dos limites da bacia hidrográfica e análises morfológicas do relevo. Estas imagens também serviram para a delimitação automática e extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Branco. As técnicas aplicadas foram úteis para identificar áreas de acumulação e divisores de água, graus de dissecação do relevo, controle estrutural (indiscriminado), perfis topográficos, declividade e compartimentação altimétrica. Técnicas conforme Carvalho e Bayer (2008), Ferreira et al., (2008), Carvalho (2009b), Carvalho e Carvalho (2012b) e Pike et al., 2009.

### **3.3 Análises hidrológicas e sedimentológicas**

As análises hidrológicas e sedimentológicas foram baseadas nos dados das estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas da cidade de Caracaraí (trecho final do alto rio Branco e início do médio) e da vila Santa Maria do Boiacú (trecho final do baixo Branco), para o período de 1967 a 2013, obtidos no banco de dados hidrológicos HidroWeb.

Foram realizados levantamentos de campo para medição do fluxo de água (vazão), e coleta de sedimentos em suspensão. As coletas foram realizadas entre 2013 e 2015

durante os períodos de cheia (campanhas entre Junho e Julho) e estiagem (campanhas entre Fevereiro e Março), com apoio da equipe do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/núcleo Roraima) e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa/RR). Foram realizadas campanhas no trecho do alto rio Branco, próximo à cidade de Boa Vista e na foz dos rios Tacutu e Uraricoera. Estes dados de campo foram necessários por não haver estação de monitoramento nestes trechos para obtenção dos dados via estação hidrológica.

Para a coleta da vazão foi utilizado o instrumento acústico de medição automática, ADCP modelo Rio Grande 600 khz (Figura 9). O modelo usado nesta pesquisa (ADCP – Rio Grande 600 kHz) é restrito a profundidades de 0,70 a 75 m, porém, é mais preciso em profundidades superiores a 3 m, tendo um percentual de erro das informações geradas na ordem de 5% (RDI, 2001).

O ADCP, modelo Rio Grande, funciona com quatro *beens* (transdutores ou sensores que convertem sinais elétricos em sonoros e vice-versa – Figura 10) os quais emitem e recebem em conjunto sinais elétricos e sonoros. Os sinais são emitidos na forma de células, as quais se distribuem ao longo do eixo vertical de cada transdutor até o leito do rio. São pulsos intercalados a cada segundo, registrando o tempo decorrido da fonte-receptor-fonte, determinando a profundidade, velocidade e a direção de deslocamento de cada célula. Para calcular a vazão o aparelho se baseia nos dados de velocidade em relação ao fundo, distância percorrida entre as duas margens, profundidades e velocidades do fluxo em diferentes verticais. Uma bússola interna mede a orientação relativa do aparelho ao campo magnético da Terra. Este mecanismo é importante para determinar a direção do fluxo d'água em diferentes profundidades e o movimento da embarcação com relação ao norte magnético (RDI,2001).

A coleta de sedimentos em suspensão foi realizada com o uso de garrafa modelo Van Dorn (Figura 11), a qual se pôde amostrar pontualmente material em suspensão em duas verticais. Coletou-se na superfície e a 60% de profundidade, nas margens e meio do canal (seção transversal). O material foi armazenado em recipientes de 1l, os quais foram devidamente rotulados e armazenados em local refrigerado, retardando a proliferação de material orgânico, o qual é prejudicial para o processamento das amostras. O método usado para determinar a concentração de sedimentos em suspensão foi por filtração. Este método consiste em filtrar, por bomba a vácuo, 250 ml da amostra em membrana de Millipore (0,45  $\mu$ ), o material retido na membrana Millipore (já com seu peso previamente determinado) é levado a estufa a 100°C para secagem. Pesou-se a membrana com o filtrado e subtraiu-se do peso inicial, resultando na quantidade em gramas de sedimentos coletados.

Figura 9 - ADCP modelo Rio Grande.



Foto: Acervo próprio.

Figura 10 – ADCP modelo Rio Grande. Esta posição mostra os “beans”, transdutores (círculos vermelhos) do ADCP. A escala mostra 20 cm de diâmetro.

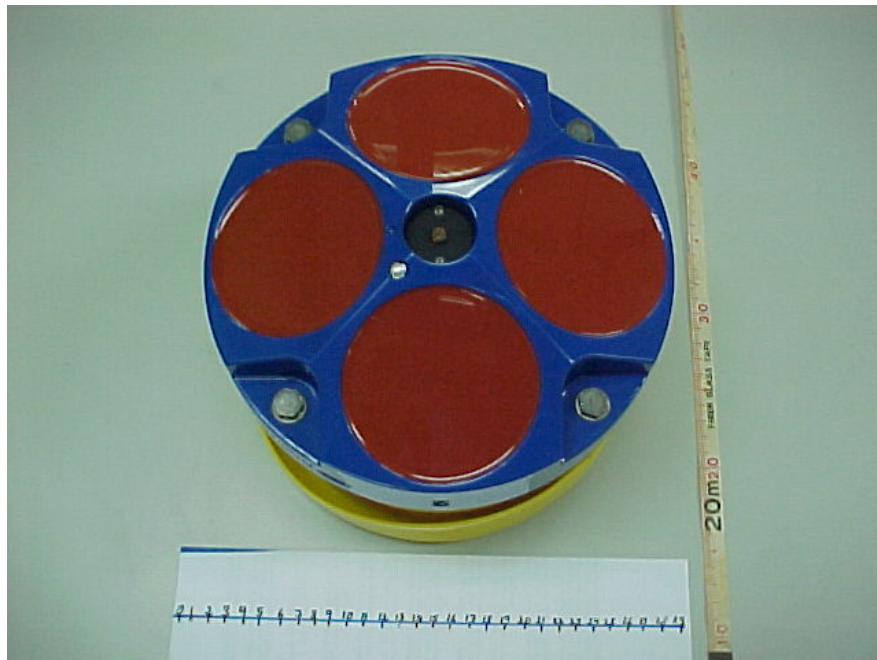


Foto: Acervo próprio.

Figura 11 – Garrafa de Van Dorn. Utilizada para coleta de sedimentos em suspensão no rio Araguaia



Foto: Acervo próprio.

### 3.4 Levantamento florístico do rio Branco

O levantamento fitossociológico (morfológico) tem o intuito de caracterizar e analisar a composição, similaridade e diversidade florística, importantes para compreender a dinâmica de comunidades vegetais de uma determinada área (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974). Estes são parâmetros também que auxiliam na classificação e servem como base para comparações entre diferentes tipologias de vegetação entre regiões.

No caso do rio Branco, entender como se distribui a florística típica da várzea ou igapó contribui para a classificação do rio Branco, o qual apresenta um padrão típico de várzea, porém, flui por áreas em que o padrão típico é de rios de igapó.

Dados relativos às espécies identificadas da flora do rio Branco são de inventários florísticos, onde foram identificados indivíduos com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou maiores de 10 cm, em um total de 6 parcelas. As parcelas possuem 1 ha (50x200 metros), distribuídas em um total de 6 ha no rio Branco, com três parcelas de 1 ha no baixo rio Branco, nas proximidades dos rios Água Boa do Univini e Catrimani, e três parcelas de 1 ha no alto rio Branco, nas proximidades da cidade Boa Vista.

Os parâmetros fitossociológicos foram analisados conforme metodologia de Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), conforme abaixo:

i) Densidade absoluta (D): relação do número total de indivíduos de cada espécie (n), pela área da parcela amostrada. Determina a quantidade de indivíduos por unidade de área.

Cálculo: [  $D = n/\text{área}$  ]

ii) Densidade relativa (DR): relação entre o número de indivíduos de cada espécie (n), dividido pelo número total de indivíduos de todas as espécies (N).

Cálculo: [  $DR = (n/N) \cdot 100$  ]

iii) Frequência absoluta (FA): relação do número de parcelas que contêm determinada espécie (Pn), pelo número total de parcelas amostradas (P). Determina a distribuição das espécies em uma determinada área amostral, expresso em porcentagem. Cálculo: [  $FA = (Pn/P) \cdot 100$  ]

iv) Frequência relativa (FR): relação entre a frequência absoluta de uma determinada espécie (FAn), pela somatória das frequências absolutas de todas as espécies (FAt), expresso em porcentagem. Cálculo: [  $FR = (FAn/FAt) \cdot 100$  ]

v) Dominância absoluta (DoA): refere-se a área basal de uma determinada espécie (n) sobre uma determinada área. Cálculo: [  $DoA = (\pi / 4 \cdot DAP^2) / \text{área}$  ]. DAP = diâmetro à altura do peito.

vi) Dominância relativa (DoR): relação entre a área basal total de uma espécie (ABn), pela área basal de todas as espécies (ABt), expresso em porcentagem.

Cálculo: [  $DoR = (ABn/ABt) \cdot 100$  ]

O Índice de valor de importância (IVI) foi determinado de acordo com Curtis e McIntosh (1951): obtido através do somatório da frequência relativa (FR), densidade relativa (DR) e dominância relativa (DoR): Cálculo: [  $IVI = FR + DR + DoR$  ]. Este índice é importante para identificar quais as espécies mais representativas (possuem maior importância) nas áreas amostrais.

O índice de Cochran nos permite testar várias amostras relacionadas, nas quais os mesmo indivíduos são observados em vários grupos. Os valores são mensurados dicotomizados: 1 (presença) 0 (ausência). Por exemplo, e uma espécie é representativa do ambiente de várzea (sendo presença, 1) ou ausente, o mesmo para as de igapó. O teste verifica se a distribuições entre 0 e 1 é homogênea ou não para espécie de várzea e igapó.

Para verificar as relações de correspondência entre a vegetação das áreas estudadas com as espécies mais representativas de várzeas e igapós de outras áreas amazônicas, foi necessário comparar os dados coletados no rio Branco com os já existentes dos rios Solimões e Negro, através de inventários florísticos já publicados na literatura conforme realizado por Wittmann et al. (2006) para rios de várzea e igapó na Amazônia.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados e respectiva discussão são apresentados na forma de artigos, estruturados de acordo com o modelo clássico de artigo científico, todos segmentados nos itens principais: introdução; metodologia; resultados e discussão; conclusões e referências. Cada artigo, conforme as temáticas abaixo estão na seção dos apêndices.

### **4.1 Ambientes denudacionais e agradacionais, uma primeira aproximação para o Estado de Roraima, norte da Amazônia**

Este primeiro artigo, intitulado “Ambientes denudacionais e agradacionais, uma primeira aproximação para o Estado de Roraima, norte da Amazônia” discute a relevante interação entre os aspectos conceituais sobre sistemas e sua relação com a Geomorfologia, dando enfoque aos ambientes agradacionais e denudacionais, como critérios aplicados na caracterização fisiográfica da paisagem. Estes aspectos são de fundamental importância para se compreender a dinâmica hidrogeomorfológica de Roraima, empregada para dar mais subsídios na descrição da paisagem (Apêndice 1).

### **4.2 Aspectos dinâmicos do sistema fluvial do rio Branco, Estado de Roraima, Amazônia Setentrional**

O segundo artigo “*Aspectos dinâmicos do sistema fluvial do rio Branco, Estado de Roraima, Amazônia Setentrional*” tem o objetivo de caracterizar alguns aspectos da bacia hidrográfica do rio Branco, relacionados à dinâmica morfológica e hidrológica do canal, inserindo este ambiente no contexto das áreas úmidas de Roraima. Trata-se de uma discussão sobre os problemas geomorfológicos e interação com aspectos biogeográficos, com intuito de caracterizar os ambientes de Roraima, do ponto de vista hidrogeomorfológicos e seus respectivos habitats (Apêndice 2).

### **4.3 Sistemas lacustres não fluviais do lavrado, região nordeste do Estado de Roraima**

O terceiro artigo “*Sistemas lacustres não fluviais do lavrado, região nordeste do Estado de Roraima*” aborda sobre os aspectos morfométricos e a dinâmica sazonal dos sistemas lacustres situado no lavrado, ambiente campestre no nordeste de Roraima. São sistemas lacustres que desenvolvem-se na planície de aplainamento da Formação Boa Vista, compondo lagos desconexos de planícies fluviais, e interconectados durante períodos chuvosos. Este ambiente forma um sistema hidrogeológico interconectado por campos e buritizais lineares com 11.340 km<sup>2</sup> de áreas úmidas no lavrado (Apêndice 3).

### **4.4 Compartimentação das bacias dos rios Uraricoera e Tacutu, roraima, com base em parâmetros geomorfométricos do relevo**

O quarto artigo “*Compartimentação das bacias dos rios Uraricoera e Tacutu, Roraima, com base em parâmetros geomorfométricos do relevo*” trata sobre como compartimentar as nascentes da alta bacia hidrográfica do rio Branco. Os dados em análise nos permitem uma melhor compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica do sistema do alto rio Branco, que diferentemente das demais regiões amazônicas, nas quais os rios são alóctones na maioria, em Roraima o sistema de drenagem em grande parte é autóctone (Apêndice 4).

### **4.5 Biogeografia e contribuições à classificação das áreas úmidas de Roraima: exemplo da florística da planície fluvial do rio Branco**

O quinto artigo “*Biogeografia e contribuições à classificação das áreas úmidas de Roraima: exemplo da florística da planície fluvial do rio Branco*” discute dados analisados até o momento que mostram o quão são variados os ambientes fisiográficos (morfologia do relevo e respectivas associações) e fitofisionômicos (tipologias vegetacionais) de Roraima, em particular a região da planície fluvial do rio Branco. Existem diversas questões para serem respondidas, as quais possuem uma relevância para a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica e fitogeográfica dos ambientes citados (Apêndice 5).

## APÊNDICE 1

### AMBIENTES DENUDACIONAIS E AGRADACIONAIS, UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PARA O ESTADO DE RORAIMA

#### RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar os ambientes agradacionais e denudacionais como critério aplicado na caracterização fisiográfica da paisagem da região do Estado de Roraima, a qual a bacia hidrográfica do rio Branco está inserida. As interpretações geomorfológicas foram baseadas em técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens Landsat 8 (OLI) e o modelo de elevação da SRTM. O Estado de Roraima, representando ~3% da Amazônia, insere-se como uma região que representa as mais variadas tipologias morfológicas do relevo e vegetação, distribuídos neste domínio morfoclimático. Abrange desde relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com planícies fluviais bem desenvolvidas, das quais destacam-se os principais rios com pelo menos 17.500 km<sup>2</sup> de áreas úmidas, sendo o rio Branco o principal com 3.400 km<sup>2</sup> de planície fluvial. Ocorrem formações de sistemas lacustres fluviais e desconexos destes, formando áreas periodicamente alagáveis, no lavrado e nas campinaranas, por exemplo, no lavrado ocupam cerca de 832 km<sup>2</sup>, formando um sistema hidrogeológico interconectado por campos e veredas com 11.340 km<sup>2</sup> de extensão, constituindo morfologias típicas de sistemas agradacionais (deposicionais). Estes aspectos são de fundamental importância para se compreender a dinâmica hidrogeomorfológica de Roraima, empregada para dar mais subsídios na descrição da paisagem.

**Palavras-chave:** Sistemas, Geomorfologia, Roraima, Amazônia.

#### ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the agradational and denudational environments as a criterion applied in physiographic characterization of landscape region of Roraima State, which the Branco drainage basin is inserted. Geomorphological interpretations of habitats were based on remote sensing using Landsat 8 (OLI) and the SRTM elevation model. The State of Roraima, representing ~ 3% of the Amazon, is included as a region with various morphological types of terrain and vegetation, distributed in this morphoclimatic domain. Ranges from low reliefs, downgraded by deep chemical weathering (etchplanation), with



well-developed floodplains, of which we highlight the main rivers with at least 17,500 km<sup>2</sup> of wetlands, the Branco river being the main one with 3,400 km<sup>2</sup> of floodplain area. Occur formations of river and lakes systems unconnected, forming periodically flooded areas in the lavrado and campinaranas, for example in the lavrado they occupy about 832 km<sup>2</sup>, forming a hydrogeoecological system interconnected by fields and veredas with 11,340 km<sup>2</sup> of area extension, constituting typical morphologies of agradational systems. These aspects are of fundamental importance to understand the hydrogeomorphological dynamics of Roraima, to give more subsidies in the description of the landscape.

**Keywords:** Systems, Geomorphology, Roraima, Amazonian.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Sobre sistemas

A Teoria Geral dos Sistemas de Ludwig von Bertalanffy busca abranger todos os campos do conhecimento, uma visão transdisciplinar. Esta ideia se define como um complexo de componentes (variáveis) que interagem entre si, há uma complexidade entre os diversos fenômenos, sejam estes físicos, biológicos e inclusive os sociais. Deve-se analisar as questões resultantes das interações entre as partes, não apenas as partes e os processos isoladamente, adotando metodologias em que se analisa os processos em diversas escalas, possibilitando analisar o todo. As ciências devem estar interconectadas, sejam as sociais e as físicas, pois os processos ocorrem em diferentes escalas e em todos os meios, logo, há uma interação por todo o campo do meio ambiente, uma visão baseada na totalidade (holística) (BERTALANFFY, 1950, 1968; CHORLEY, 1962; CHORLEY; HAGGET, 1974; SALES, 2004; VALE, 2012; CARVALHO, 2015).

Para se analisar um sistema é importante observar vários aspectos, como: a matéria que corresponde ao material que vai ser mobilizado dentro do sistema; a energia que corresponde à força (cinética) que irá realizar o trabalho (funcionamento do sistema); como está organizado (estruturado) os componentes no sistema e seu grau de conexão, os quais podem ser de ordem direta ou indireta; a variável escala, a qual irá definir a amplitude de ação da dinâmica do sistema, podendo variar em areal (espacial) e temporal; e análise das forças externas ao sistema, nos permitindo prever possíveis reações e adaptações do meio em detrimento às perturbações que possam existir (CHORLEY, 1962; CARVALHO, 2015).

Porém, estas relações não são lineares, assim, uma mudança na morfologia (forma) pode alterar os fluxos de matéria e energia; e mudanças nos fluxos de energia podem alterar a morfologia (sua forma). Estas alterações, as quais são constantes, e previsíveis (probabilísticas), afetam a perspectiva de equilíbrio, o qual o sistema esta sempre em busca, sem estagnação. Porém, quando ocorre uma forçante externa com intensidades além de o sistema ser capaz de absorver (grau de resiliência), este irá provocar um distúrbio, o qual irá promover uma alteração no equilíbrio dinâmico do sistema, podendo ser caótico (imprevisível).

Este mecanismo de adaptação ou não a uma forçante externa está associado ao processo de retroalimentação: retroalimentação direta, quando há relacionamento positivo, quando ocorre uma intensificação dos processos dinâmicos; retroalimentação negativa, quando uma alteração externa causa alterações no sistema visando extinguir ou estabilizar a mudança inicial (tido como a retroalimentação mais comum); retroalimentação neutra: quando o sistema não reage às perturbações externas. Quanto maior a capacidade do sistema em permanecer em estado de equilíbrio, ou seja, não reagir rapidamente (modificando-se) maior será a sua resiliência, ou seja, capacidade de se adaptar.

Perante estas idéias, deve-se levar em conta que a análise de um sistema compreende verificar as probabilidades; vulnerabilidades; fragilidades dos ambientes, e que estes possuem uma dinâmica natural, a qual esta sempre em busca de um equilíbrio. Nos sistemas ambientais ocorrem constantes mudanças, as quais são adaptações do meio perante as constantes forçantes externas de matéria e energia que alimentam o sistema. Frente à constante dinâmica dos sistemas, o que deve ser levado em consideração é a capacidade que este possui em se adaptar às novas alterações, e se irá reagir de forma rápida; neutra ou capaz de absorver por longo período de tempo.

Cabe ao geógrafo e profissionais das áreas afins analisarem quais as variáveis de estado e de transformação que estão operando no sistema, quais as variáveis importantes, e quais podem tornar um sistema frágil, vulnerável a alguma ação externa, por exemplo, a antrópica. *Como um sistema natural pode reagir a um empreendimento? Qual a durabilidade (vida útil) deste empreendimento; qual sua escala espacial de ação? Quais as variáveis ambientais que serão afetadas? E como estas podem reagir em longo prazo? E por fim, quais as ferramentas, metodologias que podem ser utilizadas?* Estas são questões do Geógrafo nos estudos ambientais, relacionar conceitos, por exemplo, de sistemas agradacionais/denudacionais para explicar a dinâmica da paisagem no viés hidrogeomorfológico e ecológico (SALES, 2004; VALE, 2012; CARVALHO, 2015) . No

caso deste estudo, é uma primeira aproximação de explicar as características dos ambientes das áreas úmidas da região de Roraima à qual o sistema de drenagem do rio Branco predomina.

## **1.2 Sistemas agradacionais e denudacionais**

O Radambrasil desde a década de 1970 tem sido a base para estudos relacionados à descrição dos recursos naturais no Brasil. Serve de base para levantamentos do meio físico e biótico, no entanto devido à escala de análise, deve-se ter uma precaução no uso desta base, que tem provocado alguns erros referentes à descrição de habitats. Por exemplo, estudos que requerem escala de análise de maior detalhe, devem estar amparados por levantamentos mais detalhados, com base em novas ferramentas, principalmente às de mapeamento por sensoriamento remoto.

Além da atualização de técnicas de sensoriamento remoto, outra questão de fundamental importância são os aspectos metodológicos aplicados na descrição morfológica do relevo, o qual possui várias vertentes. Uma das vertentes utilizadas é a de Tricart (1965) utilizada no Radambrasil. No entanto, dependendo da classificação utilizada, estas possuem divergências, o que pode ser minimizado com o uso de classificações do tipo morfo-genética, ou seja, atribuindo características da forma do relevo e sua origem.

Este exemplo de classificação morfo-genética foi utilizada no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás por Latrubesse e Carvalho (2006). A importância deste tipo de classificação é a objetividade que é atribuído no mapeamento, não sendo apenas de toponímia, por exemplo: Planalto Sul-Rio Grandense, mas com uma conotação genética atribuindo uma característica evolutiva da paisagem, por exemplo, Superfície Regional de Aplainamento, indicando uma conotação evolutiva da paisagem e respectivos processos associados.

Produtos derivados de sensoriamento remoto, como dados geomorfométricos tem contribuído significativamente para a descrição da morfologia do relevo (CARVALHO;BAYER, 2008; CARVALHO, 2009a). Tais métodos nos permite interpretar as morfologias do relevo através de formas denudacionais (processos predominantemente erosivos) e agradacionais (processos predominantemente acumulativos/deposicionais), além de outras variáveis importantes na análise fisiográfica da paisagem, por exemplo, através da rede de drenagem, classes altimétricas (fatiamento do relevo), declividade, perfis topográficos, sombreamento, estes são uns dos exemplos de variáveis topográficas diretas, além de outros

parâmetros como índices relacionados à geometria (forma), por exemplo, variáveis morfométricas de lagos, bacias etc. São parâmetros quantitativos (parametrização do relevo) que permitem estabelecer outros índices associados, como a direção das encostas e o potencial de erodibilidade do solo por métodos indiretos, ou seja, variáveis topográficas indiretas.

Os sistemas denudacionais se subdividem com fraco ou imperceptível controle estrutural e com forte (ou marcante) controle estrutural. No caso dos sistemas denudacionais com forte controle estrutural podem ocorrer, por exemplo, blocos falhados e basculados, estratos dobrados gerados por corpos intrusivos, entre outros, como por exemplo, *hogbacks*, *cuestas* e facetas triangulares. Para os sistemas denudacionais com escasso ou imperceptível controle estrutural, pode-se subdividir em dois grandes grupos: sistemas denudacionais de dissecação e sistemas denudacionais de aplainamento. Os sistemas denudacionais de dissecação são os que predominam morfologias erosivas, por exemplo, os atrelados a erosão linear (sulcos, ravinas), e formas convexas como morros (colinas) dissecados. Às vezes são formas suavizadas, porém, com potencial energético de realizar trabalho, neste caso perceptível através de índices como gradiente do relevo (grau de inclinação das encostas/vertentes), por exemplo, as feições de morros suavizados na superfície de aplainamento do lavrado, nordeste do Estado de Roraima, conhecidos como “tesos” (CARVALHO; CARVALHO, 2012a; CARVALHO; CAVALHO, 2015).

Dentre os sistemas agradacionais, tem-se em destaque os atrelados às áreas úmidas, por exemplo, os sistemas lacustres mantidos por sistemas fluviais ou por precipitação/oscilação do freático; e os sistemas fluviais, como rios (geralmente canais acima de segunda ordem) e canais de pequeno porte, os quais possuem denominações regionais como córregos, igarapés, arroios (geralmente canais de primeira e segunda ordem). Estes sistemas agradacionais dependem de diversos fatores como topografia (gradiente/declividade), clima (precipitação), solos (textura), litologia (permeabilidade), tectônica (controle estrutural), dentre outras, principalmente os de ordem antrópica. São ambientes instáveis, os quais se modificam diariamente, por exemplo, o nível de água, e que serão discutidos mais adiante.

### 1.3 Geomorfologia e áreas úmidas

As descrições da morfologia do relevo é imprescindível para identificarmos formas agradacionais, ou seja, morfologias típicas de acumulação (planícies fluviais; sistemas lacustres; aluviões); e formas denudacionais, morfologias típicas de processos erosivos (serras e morros o geral). Estes são ambientes, que em uma primeira aproximação, torna possível caracterizar do ponto de vista geomorfológico, a dinâmica das áreas úmidas, e tornando possível inferir sobre sua gênese, além de compreender demais processos e respectivas associações, por exemplo, com a fauna e flora.

Estes dois sistemas independem da escala, podendo ocorrer morfologias típicas agradacional de alguns metros quadrados a centenas de quilômetros quadrados, o mesmo ocorre para sistemas denudacionais. Também não são sistemas isolados, onde morfologias de agradação se formam juntamente com as erosivas, o que leva-se em consideração é a predominância das morfologias (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006).

Estes sistemas também imprimem ideia de estabilidade/instabilidade local, o que pode levar a erros do intérprete, por exemplo, uma unidade com morfologia côncava, a qual foi gerada por processos fluviais passados (paleocanais) colmatada por sedimentos aluvionares, dá a ideia de estabilidade local, porém temporária, deve ser levado em consideração que um sistema não é fixo, é dinâmico e está dependente de agentes externos (ventos, clima, fauna) e internos (tectônicos). Analisar estes sistemas é etapa fundamental para se caracterizar e compreender a dinâmica hidrogeomorfológica regional, assim como base para demais associações com outras ciências (ecologia; biogeografia; fitografia, engenharia ,etc.), conforme descrito por Latrubesse e Carvalho (2006).

Outra forma de se estudar as áreas úmidas buscando uma delimitação regional é através de bacias hidrográficas. São áreas de relevante importância para estudos ambientais, em especial os voltados para análises da dinâmica hidrogeomorfológica, por serem consideradas sistemas abertos, com entrada e saída de energia e matéria. Isso quer dizer que uma bacia hidrográfica recebe aporte de energia e matéria, convertendo-se, através da rede de drenagem, em uma máquina transformadora do modelado terrestre, removendo material sedimentar, nutrientes, água (etc.) através das vertentes (fluxos de água) para uma saída em comum (exutório). Os fluxos podem ser pela superfície, canalizados, em pequenos sulcos (temporários) ou gerando futuras ravinas em estagio inicial de um novo canal incipiente de primeira ordem; assim como pela subsuperfície, infiltrados nas camadas rasas (freático

superficial), por dutos (*piping*), e fluxos percolados nas rochas, camadas mais profundas (aquíferos), num processo de rebaixamento do relevo contínuo.

Dependendo das características fisiográficas da bacia, estes processos são mais intensos em zonas de alta energia (morfologias denudacionais – dominadas pelo controle estrutural – tectônico), ou com menor potencial energético, em zonas de baixa energia (morfologias agradacionais – controladas por sistemas fluviais–aporte sedimentar), acarretando em dinâmicas hidrossedimentar diferenciadas destes ambientes, sendo condicionantes às tipologias de áreas úmidas e respectiva dinâmica adaptativa da fauna e flora.

O transporte de sedimentos e materiais solúveis, que corresponde ao transporte fluvial de massa (matéria) numa bacia de drenagem, é o fator dominante no balanço hidrossedimentológico – equilíbrio dinâmico do que entra e sai no sistema. O material transportado pelo sistema de drenagem são por carga sedimentar de fundo (areias em forma de dunas – deslocadas ao longo dos canais), por suspensão (carga sedimentar suspensa no fluxo da água), por dissolução (nutrientes dissolvidos na água).

Alterações naturais, como clima e reajuste morfológico constante do canal, além da ação antrópica, alteram o perfil dinâmico de estado “equilibrado” do sistema. Isso promove modificações no fluxo energético de saída, assim como novos aportes de matéria (sedimentos). Estas modificações exigem que o sistema promova adaptações, modificações em busca da retomada do perfil de equilíbrio dinâmico. São processos como mudança de canal (avulsão) gerando paleocanais, lagos e terraços; pode ocorrer a colmatagem/assoreamento (sedimentação de rios e lagos), processos erosivos, dentre outros, a depender da escala espacial e temporal. Os processos dinâmicos são dependentes das características físicas das bacias, como morfologia (fisiografia – características da forma do relevo), formato da bacia (índice de forma – alongada, irregular, circular), dimensão (área), padrões de drenagem, cobertura do solo (meio natural), e o tipo de uso (variável antrópica).

Um sistema fluvial pode ser considerado como um sistema modelador da superfície terrestre, o qual, através de um sistema complexo de rede de drenagem, tem a capacidade de dissecar o relevo e assim gerar novas superfícies de aplainamento, erodindo e transportando sedimentos. É um termo designado para um sistema de canais fluviais, de variados tamanhos, os quais se conectam conformando uma bacia de drenagem.

A “bacia hidrográfica ou de drenagem”, a qual é limitada por terrenos mais elevadas denominados de “divisores de água”, é quem contribui com o aporte de água e sedimentos para o sistema fluvial principal e seus afluentes. Trata-se de um sistema aberto o

qual funciona controlado por diversos fatores, com relações interdependentes complexas e diferentes escalas temporais e espaciais de atuação. Esses fatores dependem da variação da descarga (volume de água), tipos de sedimentos transportados, morfologia do canal (variáveis relativas à sua geometria), morfologia do terreno (gradiente) e ao tipo de uso e cobertura da terra. Estes fatores são responsáveis em dar características peculiares aos processos fluviais (erosão/deposição e transporte). Estes fatores, interligados às características internas da bacia hidrográfica (sistema fluvial) são modelados por fatores externos à bacia, que atuam em escala regional/continental, afetando a dinâmica de toda a região onde a bacia hidrográfica se desenvolve.

Schumm (1977) criou um conceito teórico, através de compartimentos, os quais dividem uma bacia hidrográfica em setores. Estes setores são caracterizados pela predominância e intensidade na atuação dos processos aluviais: erosão, transporte e deposição de materiais. Esta visão simplificada nos ajuda a compreender a dinâmica de processos mais significativos, dominantes, em três zonas ou setores como: zona 1 (produção de sedimentos); zona 2 (transporte) e zona 3 (deposição). As características e tendências das variáveis de ajuste do sistema, em cada um desses setores, reflete a ação conjugada e interligada dos processos operantes em cada uma dessas zonas.

A aplicação do modelo de análise sistêmica para pesquisas referentes às bacias hidrográficas promoveu a sua utilização como unidade de estudo a partir da possibilidade de considerar e analisar o sistema fluvial como qualquer outro sistema físico ou histórico aberto, ou seja, que é suscetível a entrada e saída de energia, de forma que estas tendem a estar em equilíbrio. Segundo Iriondo (1986) um sistema fluvial está caracterizado por apresentar uma estrutura interna definida pelas suas variáveis de estado, tais como a geologia (litologia, topografia, condicionamento estrutural) o clima (pluviosidade, temperaturas médias) e a vegetação. Estas variáveis de estado se relacionam e se modificam por processos climáticos e geológicos, ou seja, variáveis de transformação. Essas variáveis são numerosas, tais como erosão, transporte, sedimentação, intemperismo, pedogênese, oscilação de nível freático etc. As variáveis de transformação, ou “processos”, mobilizam-se pelas contribuições externas de energia e matéria (calor solar, ventos, chuvas etc.).

Análise do sistema fluvial de uma perspectiva física ou histórica abre a possibilidade de abordá-lo por diversos métodos. Da visão da engenharia fluvial, por exemplo, trata os sistemas fluviais como puramente físicos, regidos por leis e princípios físicos universais, enfocando a análise do funcionamento do sistema durante curtos intervalos de tempo, o que promove uma visão das condições “atuais” operantes no sistema. Desse

ponto de vista se destaca a Geometria Hidráulica como importante ferramenta para o desenvolvimento de fórmulas empíricas, necessárias para a elaboração de teorias deterministas do comportamento dos canais.

A análise do sistema fluvial como um sistema histórico ou de uma perspectiva genética, por outro lado, age diretamente com tendências evolutivas, permitindo a reconstrução de condições pretéritas, de modo que o cenário fluvial e suas características associadas dependem, na última instância, da evolução geológica e climática da região e da ação antrópica sobre sua área de influência. As mudanças ocorridas no sistema podem ser analisadas no viés multitemporal e espacial (diferentes escalas de ordem temporal/espacial), estas mudanças geram marcas, registros os quais têm um importante papel em nos contar sua história evolutiva.

A estrutura de um sistema e seus processos determinam o comportamento típico para cada ambiente. Por exemplo, a mudança de uma variável externa ao sistema produz reajuste em todos os demais parâmetros, assim os sistemas podem ser caracterizados por seu grau de estabilidade, o qual varia na escala temporal na ordem de dias a milhões de anos (resiliência). Sistemas estáveis absorvem bem as perturbações (regulação), mas os sistemas instáveis reagem rapidamente e se modificam em função da nova situação (adaptação), o qual é determinado pela sua capacidade de resiliência, como discutido anteriormente. O registro (memória), por exemplo, registrado através de formas no ambiente é uma informação geomorfológica importante, e que persiste no sistema como um elemento o qual não condiz com a atual condição estáveis do sistema, por exemplo, não condiz com o clima e morfologias atuais. Esta informação acumulada é que nos permite reconstruir ambientes e processos do passado, paleogeografia regional.

Os estudos sobre sistemas fluviais tiveram grande avanço envolvendo trabalhos de campo, análises de mapas, fotografias aéreas, imagens orbitais, e experimentos em laboratórios. Dentre estes estudos, destacam-se alguns como as obras de Strahler (1952), Leopold *et al.* (1964), Schumm (1977) e Knighton (1998), que estabeleceram uma base hierarquizada para os canais de drenagem e modelos teóricos.

Desta forma, através da determinação dos processos operantes no sistema fluvial, pode ser feita uma análise dos seus elementos constituintes. A planície de inundação, neste caso, é apresentada sob este aspecto como uma feição deposicional no vale do rio, está associada a um clima particular ou ao regime hidrológico próprio da bacia de drenagem. Podemos definir uma a planície de inundação (planície fluvial) como uma superfície próxima do canal principal que permanece inundada durante períodos de tempo num ciclo hidrológico



sazonal, e que é constituída por materiais aluviais ou não. Existem planícies de sistemas fluviais aluviais, por exemplo, o caso do rio Branco; e planícies de sistemas fluviais com predomínio de afloramentos rochosos, e que são controladas pelo sistema litológico regional (controle estrutural), por exemplo, as de rios encaixados, cuja planície fluvial é pouco desenvolvida. Pela perspectiva da escala temporal de análise e sob um ponto de vista morfogenético, a planície aluvial é um ambiente gerado pelo resultado de sucessivos processos de deposição em variados subambientes, os quais produzem uma considerável quantidade de formas deposicionais reconhecíveis, por exemplo, os *levees* que são feições deposicionais verticais ao longo das margens de rios e lagos, onde são depositados material sedimentar, em detrimento das variações do nível de água, como as cheias periódicas e ação dos ventos.

Com relação ao tipo de ambiente pelos quais drenam os canais fluviais, estes podem ser classificados como do tipo rochoso, em que fluem em rochas do embasamento, trecho o qual está comumente ligado às cabeceiras do sistema fluvial (nascentes), e possuem uma lenta dinâmica de processos geomorfológicos; podem ser canais aluviais, sua característica principal é de possuir um leito arenoso, com barras e bancos arenosos formados por material sedimentar transportado pelo sistema fluvial, e possuem uma grande variedade de formas, as quais correspondem às variáveis hidrológicas, climáticas, geológicas, e sedimentares; e por último os canais do tipo semi-controlados, estes apresentam em certos trechos leitos rochosos ou aluvião resistente (BRIDGE, 2003).

Dentre os tipos de canais citados acima, os do tipo aluviais são os mais comuns nos grandes rios tropicais, e possuem maior campo para estudos, por apresentarem uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensa, podendo ser analisado processos migratórios do canal (avulsão), estudos da formação de barras e ilhas, processos de erosão e sedimentação, transporte de carga sedimentar, dentre outros. São rios que possuem uma intensa dinâmica, devido a fácil erodibilidade de bancos arenosos e de seu leito, tornando este ambiente uma das paisagens mais dinâmicas; e facilmente afetado por atividades antrópicas, pois possuem uma baixa resiliência (modificam-se rapidamente).

Os canais aluviais apresentam uma variedade de formas, os quais podem ser classificados em padrões clássicos da literatura, como descrito em Leopold e Wolman (1964), Mangelsdorf e Scheurmann (1990) sendo dos tipos meandriformes, entrelaçados, multicanal, anastomosados e retilíneos.

Schumm (1977) distinguiu os tipos de canais devido ao critério da carga sedimentar transportada. Três tipos de canais usando como critério o transporte de carga

sedimentar puderam ser discernidos. Os que possuem elevada taxa de transporte de sedimentos de fundo, promovendo formações de barras centrais, alta relação entre largura/profundidade, elevado gradiente e alta instabilidade classificados como entrelaçados; canais que possuem três formas de transporte, uma caracterizada pelo transporte de sedimentos em suspensão e estável, uma segunda forma caracterizada pelo incremento de sedimentos de fundo e barras de acreção lateral, e uma terceira mais instável, menos sinuoso, com maior predominância de sedimentos de fundo e surgimento de barras centrais (canais meandriformes); e por último, podendo ser de duas formas, uma com predominância de sedimentos em suspensão, baixa relação entre largura/profundidade e baixo gradiente, e uma segunda forma com carga mista (transportando sedimentos em suspensão e de fundo), aumento da relação largura/profundidade, e formação de barras laterais (canais retilíneos).

Para Bridge (2003) é necessário analisar diferentes parâmetros para poder classificar distintos tipos de canais, sendo basicamente definidos pela natureza da divisão do canal em barras ou ilhas dando um aspecto entrelaçado, e pela sinuosidade em diferentes segmentos do canal, assim a principal característica do canal pode ser dividida em canais-únicos e múltiplos.

Estudos de Ramonell e Amsler (2001), Latrubesse e Franzinelli (2005), e Latrubesse *et al.*, (2005) aprofundaram os estudos nos sistemas fluviais sul-americanos. Estes estudos correlacionaram os sistemas fluviais de acordo com o suprimento de sedimento e a descarga média anual, clima, regime hidrológico, processos morfogenéticos e hidrológicos e atividades antrópicas. Estes são relatos essenciais para o entendimento do comportamento dos processos fluviais dos grandes sistemas fluviais.

#### **1.4 Uma visão geral sobre áreas úmidas na Amazônia**

A Amazônia pode ser caracterizada predominantemente por extensas planícies, com platôs, serras isoladas e baixios, com rios alóctones e autóctones, cuja bacia hidrográfica predominante é do rio Amazonas, com cerca 6 milhões de km<sup>2</sup>, drenando desde a região da amazônia andina, com cotas em torno de 4.000 metros ao oceano atlântico por ~3.000 km no sentido geral W-L. Cerca 51% da bacia possui cotas máxima de 200 metros (destes 20% 0-100 m e 31% 100-200 m); 32% representam cotas entre 200-400m; 8,3% entre 500-1000m; e 8,7% com cotas entre 1.000-4.000 metros.

O relevo é capeado por solos de baixa fertilidade, o qual sustenta depósitos de matéria orgânica em decomposição, chamado de serrapilheira/folhiço, que mantém seu

sistema florestal através da constante ciclagem de nutrientes, favorecido pelo clima úmido e quente. É uma região dominada por baixa amplitude térmica (variações inferiores a 10°C), com elevadas temperaturas médias em torno de 25°C, precipitação bem distribuída (média de 2.500mm/a), e um complexo mosaico vegetacional, com diversas formações florestais, distribuídas em áreas periodicamente inundadas (igapós e várzeas) e áreas de terra firme.

Estas características formam uma área de aproximadamente 7.5 milhões de km<sup>2</sup>, destes aproximadamente 6 milhões de km<sup>2</sup> pertencem a bacia hidrográfica do Amazonas, a qual drena cerca de 3.8 milhões km<sup>2</sup> em território brasileiro. Roraima inserido integralmente na Amazônia, abrange 3% do total deste domínio morfoclimáticos, o qual caracteriza-se por ser uma área de dimensões subcontinentais, com padrões característicos interrelacionados entre as condicionantes climática, topográfica, drenagem, pedológica e vegetacional.

As áreas úmidas da Amazônia são mantidas pela conformidade entre as variáveis precipitação, sistemas fluviais e lençol freático, além das de ambientes antrópicos como açudes, barragens dentre outros controlados pela ação do homem. São áreas dependentes do clima, solo, topografia e do sistema de drenagem. Podem ser observadas duas fases nestas áreas, uma terrestre e outra aquática.

Dentre estes ambientes amazônicos úmidos encontram-se as várzeas, os igapós, as campinaranas e os buritizais. As distribuições das espécies de plantas nestes ambientes e as fisionomias da vegetação destas áreas são influenciadas por diversos fatores, os mais importantes são: a duração das fases terrestre e aquática; a estabilidade física do ambiente influenciado pela sedimentação, os processos erosivos, a correnteza e ação de ondas dos sistemas fluviais; os processos sucessionais das plantas relacionados com a duração de vida destas e a idade do ambiente; bem como a forte influência dos impactos humanos (JUNK;PIEIDADE 1997; LOPES et al., 2013).

Na Amazônia as áreas úmidas podem abranger cerca de 600.000 km<sup>2</sup> ao longo da bacia hidrográfica do Amazonas, a qual possui florestas periodicamente inundadas formadas por águas brancas, claras e pretas, onde se desenvolvem uma vegetação aluvial do tipo várzea e igapó. A várzea possui uma área em torno de 400.000 km<sup>2</sup>, e os ambientes de rios de águas pretas e claras (igapó) com 200.000 km<sup>2</sup> (MELACK; HESS, 2010). As florestas nas áreas de várzeas e de igapós têm características estruturais e florísticas próprias, resultante das diferenças geomorfológicas, hidrológicas e evolutivas, mas principalmente das diferenças nutricionais e químicas (IMLER, 1977).

As áreas úmidas amazônicas têm relevante importância ecológica e socioeconômica. Do ponto de vista ecológico funcionam como fontes primárias para as

cadeias tróficas e mantêm a diversidade de peixes, interferem na ciclagem de nutrientes entre os sistemas aquáticos e terrestres, bem como influenciam no ritmo de crescimento da vegetação. São também fontes importantes de metano e atuam nos processos de sequestro de carbono da atmosfera. Estas áreas úmidas também oferecem refúgios permanentes ou temporários para a fauna de vertebrados terrestres e invertebrados associados a estes ambientes. Do ponto de vista socioeconômico e climático estas áreas são importantes para as atividades agrícolas, pesca e extração madeireira, além de participarem ativamente nos processos de serviços ambientais (FEARNSIDE, 2000; RICHEY et al., 2002; MELACK et al., 2004).

A floresta de várzea é rica em nutrientes provenientes dos sedimentos transportados em suspensão por rios de água branca da região andina e pré-andina. Estes nutrientes quando depositados ao longo das margens formam o solo aluvionar mais rico da Amazônia (FURCH, 1997). Os sedimentos depositados ao longo da planície de inundação são formados por argilo-minerais, principalmente a montmorilonita, que tem alta capacidade de troca catiônica (Irion, 1984). A várzea possui uma complexa dinâmica morfológica do canal, caracterizando-se como ambiente instável, devido às condições geológicas e geomorfológicas, principalmente devido ao transporte e deposição de carga sedimentar (CARVALHO, 2009b). Ambientes próximos às margens dos rios que formam as várzeas podem apresentar taxas de deposição de sedimentos de mais de um metro por ano, e interferem também nos processos erosivos, erodindo grandes áreas de terras com vegetação durante os períodos de cheias (BAYER; CARVALHO, 2008; SANDER et al., 2013). Com base nesta dinâmica de sedimentação e na variação da composição florística no gradiente topográfico Wittmann et al. (2002) categorizaram a vegetação da várzea em: i) várzea baixa com diversos estágios sucessionais, ii) várzea alta com estágios sucessionais mais tardios, e iii) chavascal.

Ao contrário da várzea, rica em nutrientes, o igapó é formado por sedimentos com baixos teores de nutrientes, conseqüentemente baixo potencial de produtividade. Os sedimentos do igapó são provenientes de terrenos cristalinos, lixiviados, constituídos principalmente por caolinita e material argilo-mineral com baixa capacidade de troca catiônica (IRION, 1984).

Dois grandes sistemas inter-relacionados podem ser identificados na Amazônia: áreas úmidas drenadas por sistemas fluviais e lacustres florestada (porte arbóreo denso) e áreas úmidas abertas, com vegetação esparsa, predominantemente arbustiva-herbácea com palmáceas, drenada por igarapés e lagos perenes/sazonais.

As áreas úmidas abertas são de destaque na Amazônia, devido sua peculiaridade em um ambiente de domínio florestal, sendo de grande interesse paleogeográfico. São áreas geralmente associadas às formações de areias brancas, depósitos desenvolvidos no Terciário e Quaternário, formados pelos processos constantes de intemperismo químico do relevo cristalino (granitos e gnaisses) e mobilização do manto de intemperismo (saprólito) pela oscilação do freático, por igarapés que drenam estes ambientes e ações do vento.

Estas formações, originadas por processos de intenso intemperismo químico; oscilações do lençol freático; mobilizadas pelo vento e/ou canais fluviais, são conhecidas por diferentes nomenclaturas, as quais referem-se a variadas fitofisionomias, porém, todas associadas à formações de areias brancas, recebendo nomes como: campina, campinarana, caatinga amazônica no Brasil; varillales no Peru; wallaba e muri-bush na Guiana; morichales e bana na Venezuela (LISBÔA, 1975; PRANCE, 1975; BARBOSA; FERREIRA, 2004).

A litologia do substrato rochoso e topografia do relevo podem ser condicionantes cruciais para a formação de areias brancas (podzolização). A origem dos depósitos de areias brancas podem estar associados a resíduos *in situ* do manto de intemperismo (saprólito) em ambientes de rochas cristalinas ou em arenitos, os quais foram lixiviados durante vários ciclos climáticos (fases úmidas e secas), onde ocorreu a remoção de minerais como a argila e ferro, formando depósitos residuais de quartzo e feldspato; outros relacionam-se ao material intemperizado e carregado de regiões serranas adjacentes (colúvio) em condições semi-áridas; ou remoção e transporte de depósitos aluviais de paleocanais por atividade eólica (dunas) (CHAUVEL et al., 1987). O processo de ferrólise, que ocorre em ambientes com oscilação do nível de água do solo (ambientes hidromórficos), é importante para que ocorra a alteração do mineral caulinita em alumina e sílica, este processo pode reduzir cerca de 30% do volume da área lixiviada, o que contribui para o rebaixamento da superfície, tendo como resíduos areias brancas (CHAUVEL et al., 1987).

O processo de lixiviação do ferro e da argila contribuíram para a formação de depósitos arenosos da formação Berbice na Guiana. No Suriname, parece ter havido uma redistribuição de antigos aluviões (paleodrenagens) em períodos de aumento da pluviosidade, onde também ocorreu a lixiviação do ferro (HEYLIGERS, 1963). Alguns destes depósitos na Amazônia e planície costeira da Guiana contém lentes arenosas brancas intercaladas por depósitos de argilo-minerais caulinita e gibsitita, evidenciando influências na pedogênese de regimes climáticos passados e o clima tropical úmido atual (BRAVARD; RIGHI, 1990). A formação de Espodosolos nas proximidades de Manaus também estão relacionados formações, *in situ*, de areias brancas, os quais parecem ter sido originados do saprólito

laterítico (Formação Alter do Chão), havendo segregação do ferro e dissolução da caulinita em processo de podzolização (HORBE et. al., 2003).

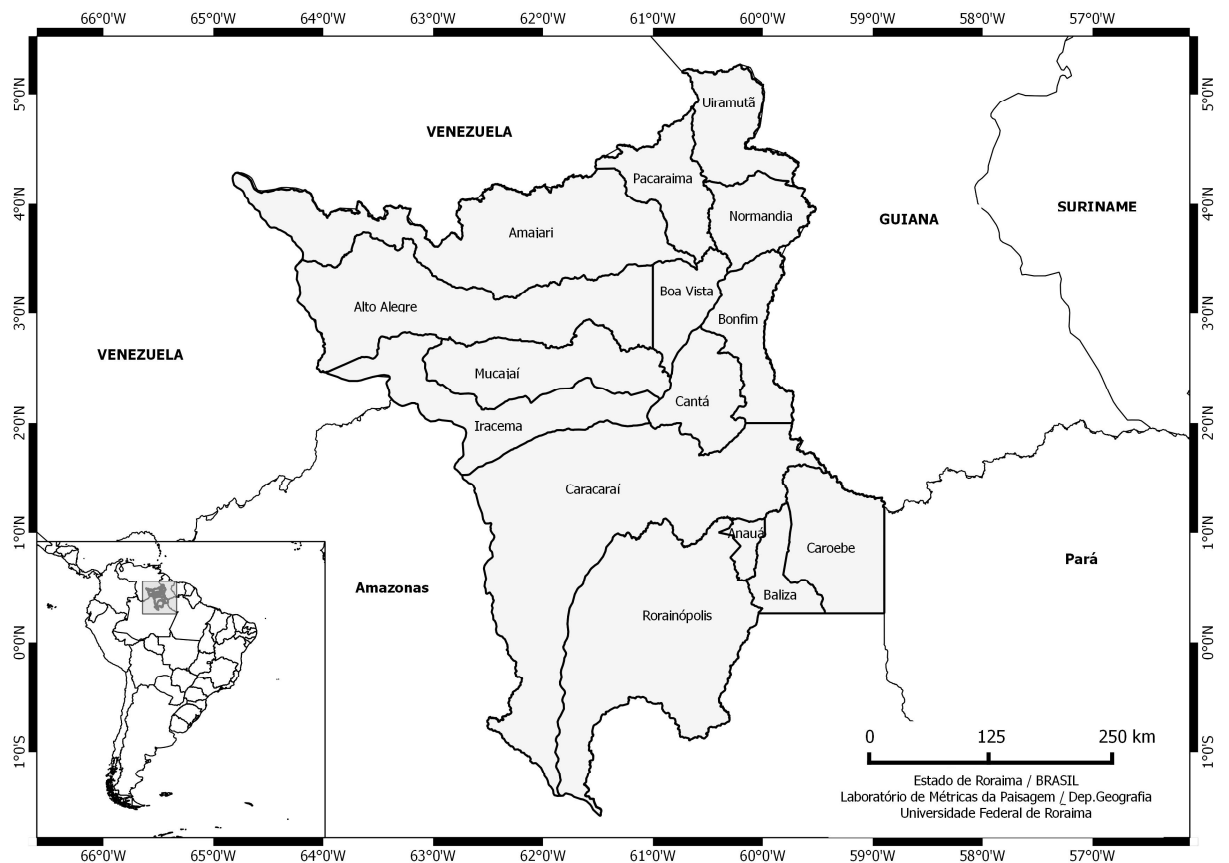
Processos eólicos também atuaram nos depósitos arenosos da Amazônia, em regiões de tipologia vegetacional de campina-campinarana, áreas abertas formadas por ilhas de mata, arbustos esparsos, palmáceas e herbáceas e solo hidromórfico capeado por areias brancas, as quais foram remodeladas pelo vento, formando feições de dunas do tipo parabólica de orientação geral NE-SW (LATRUBESSE; NELSON, 2001; CARNEIRO-FILHO; TATUMI, 2003; CARVALHO; CARVALHO, 2012a). Estas formações são similares as que ocorrem na região dos Llanos do Orinoco, grandes extensões ao longo da planície do rio Orinoco (Venezuela) e no Chaco (proximidades de Santa Cruz da La Sierra, Bolívia).

Um exemplo destes sistemas campestres encontra-se no centro norte da Amazônia, região que abriga uma das maiores áreas abertas amazônicas, situada em parte no nordeste de Roraima, sudeste da Venezuela e centro-oeste da Guiana, a qual é compartimentada em diferentes patamares de aplainamento, com domínios paisagísticos diferenciados, sendo eles os campos do lavrado e campinaranas (Roraima); campos da Gran Sabana (Venezuela) e campos do Rupununi (Guiana), com uma área em torno de 70.000 km<sup>2</sup>. Por exemplo, em Roraima as áreas abertas destacam-se o lavrado e as campinaranas do sul do Estado, com 43.000 km<sup>2</sup> e cerca de 8.000 km<sup>2</sup> respectivamente, ocupando ~22% do território de Roraima.

## **2 ÁREA DE ESTUDO**

O Estado de Roraima, localizado no centro norte da Amazônia, possui uma área de ~224.300 km<sup>2</sup>, a qual representa 3% inserido integralmente no domínio do ecossistema amazônico (Figura 1). Abrange relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com nível de base local representado pela formação de sistemas lacustres pelo solapamento do manto de intemperismo (saprólito), e planícies fluviais bem desenvolvidas.

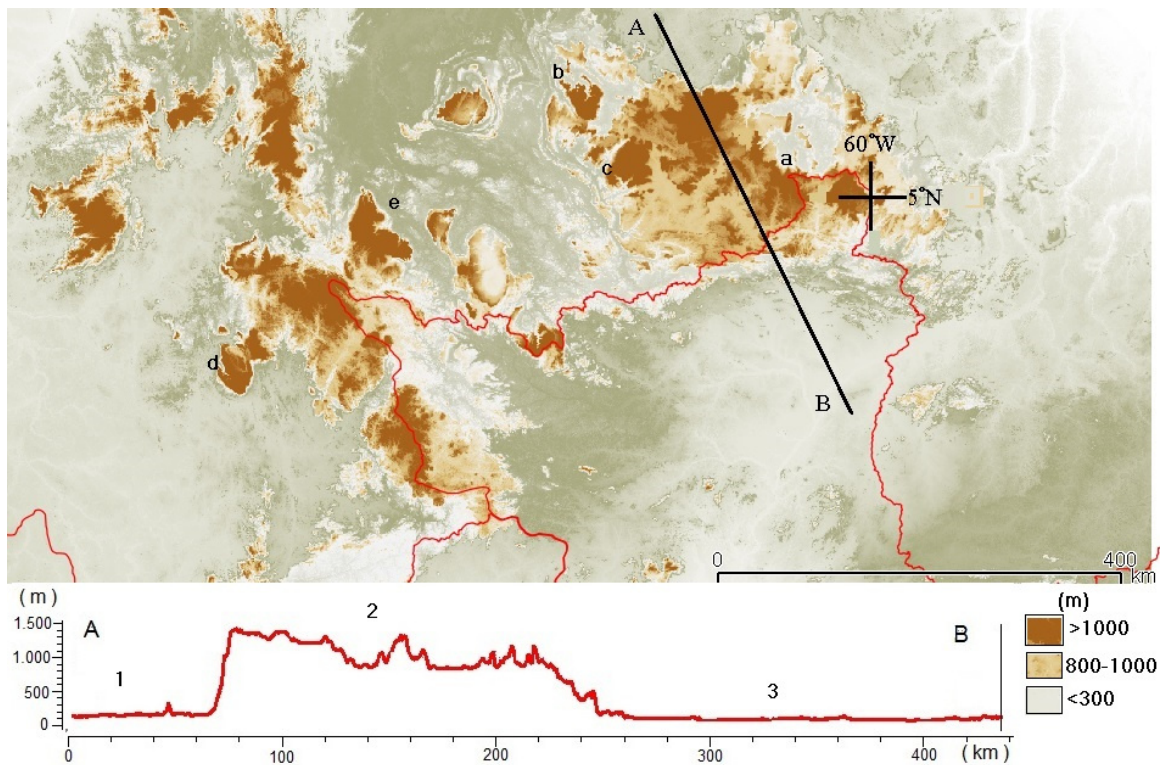
Figura 1 - Estado de Roraima, localizado no centro norte da Amazônia.



Fonte: Elaboração própria

A região norte e noroeste de Roraima abrange um sistema montanhoso de forte controle estrutural de contato entre as serras Parima e Pacaraima, formando um divisor de águas entre as bacias hidrográficas do Orinoco e Amazonas. Esta região abriga uma importante província biogeográfica denominada de Pantepui por Mayer e Phelps em 1955, ao analisarem casos de endemismos da avifauna na região, e posterior descrito do ponto de vista geográfico por Huber em 1987 (Figura 2). Trata-se de um mosaico ao sul da Venezuela e norte e nordeste de Roraima formado por antigas superfícies de aplainamento, relevos tabuliformes (tepuy, plural tepuyes), dissecadas em diferentes patamares entre ~800 a ~2800 metros, por exemplo, os tepuyes Roraima e Kukenan localizados na região da Gran Sabana.

Figura 2 - Província Pantepui.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: Destacam-se alguns tepuyes: a) Roraima e Kukenan; b) Auyan; c) Chimanata; d) Marahuaca; e) Sarisariñama. Perfil topográfico A-B (Venezuela-Roraima): 1) superfície de aplainamento do rio Orinoco; 2) superfície de aplainamento da Gran Sabana; 3) superfície de aplainamento do rio Branco.

Ao sul do sistema dos tepuyes, província Pantepui, atua o sistema Parima-Pacaraima, nascentes de rios afluentes do rio Negro, os quais drenam para o sul de Roraima, neste sistema mais rebaixado, com cotas abaixo de 250 metros, formam extensas planícies fluviais e em determinadas áreas mal drenadas, como os sistemas lacustres do lavrado (NE de Roraima), e no centro sul do Estado, superfície de aplainamento controlada pelo sistema de drenagem do rio Branco (CARVALHO, MORAIS, CARVALHO, 2016).

A literatura cita diversos nomes para estas paisagens abertas roraimenses, por exemplo, campos do rio Branco, savana, cerrado, bioma ou ecorregião (BARBOSA; MIRANDA, 2005; TAKEUSHI, 1960). Campo é termo genérico utilizado para muitas áreas



abertas brasileiras. O domínio do ecossistema do cerrado está a uma distância cerca de 2.000 km de Roraima. As semelhanças do lavrado com o cerrado existem e são apenas fisionômicas (VANZOLINI; CARVALHO, 1991). O termo savana, utilizado para designar várias áreas abertas no mundo todo, juntamente com os termos bioma e ecorregião, ao se juntarem formam as condições para um enfoque muito genérico sobre fisionomias de vegetação, sem situá-las adequadamente num contexto geral. Isto pode gerar mais confusão do que clareza geográfica e ecológica.

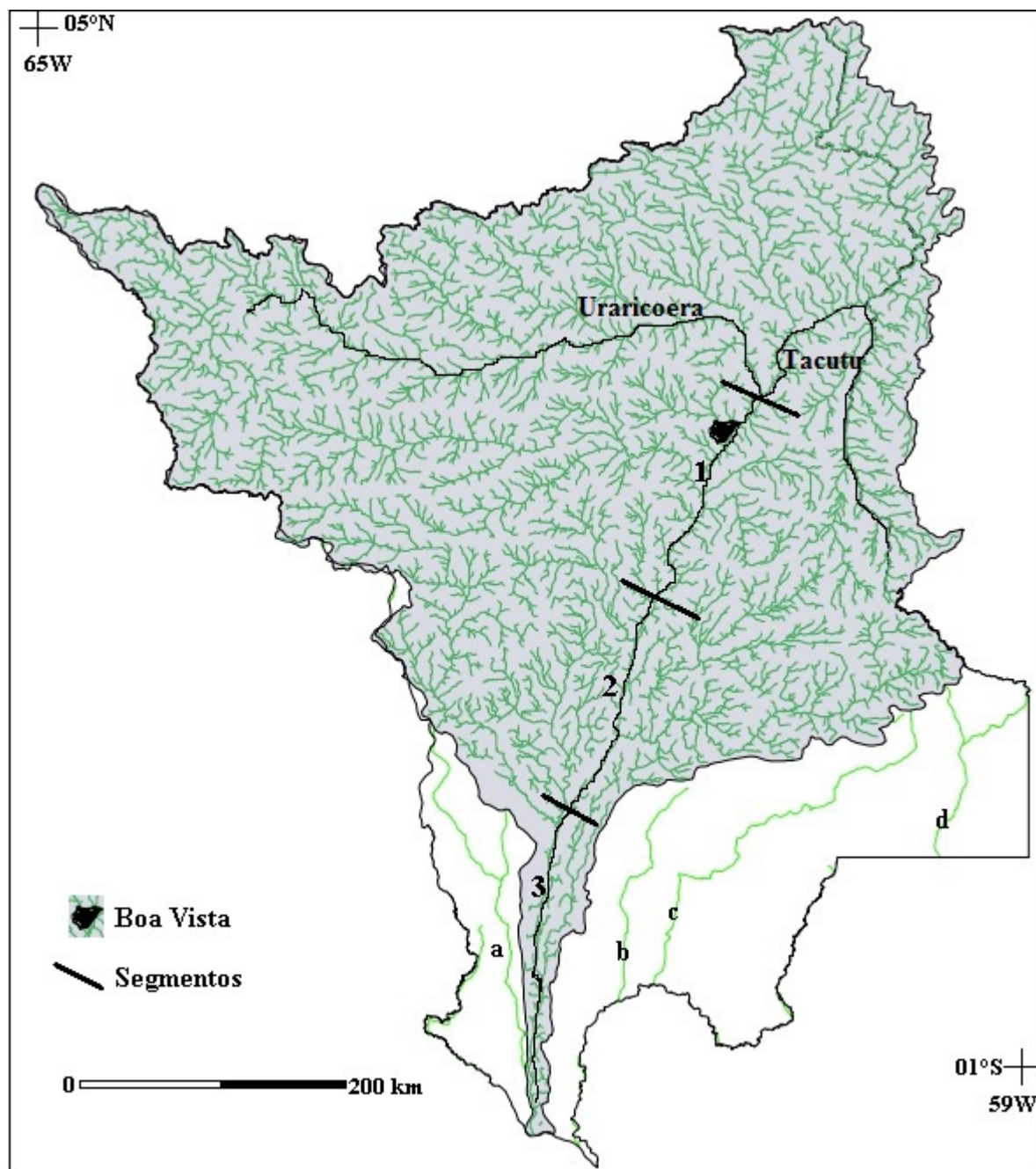
O principal rio que drena Roraima é o Branco, afluente da margem esquerda do rio Negro, o qual possui uma bacia de drenagem abrangendo 187.540 km<sup>2</sup>, perímetro de 3.253 km, drenando 78% de Roraima (Figura 3). A hidrografia regional atua como um importante sistema modelador destes ambientes paisagísticos de Roraima, dissecando o relevo na direção predominante NE-SW, e que deve ser levada em consideração ao descrever os ambientes de Roraima (CARVALHO; CARVALHO, 2012<sup>a</sup>; APÊNDICE 2).

Os rios de desta região podem ser caracterizados como autóctones no geral, com exceção dos 12.300 km<sup>2</sup> da bacia do rio Branco que nascem no oeste da Guiana, a qual é influenciada ao norte e noroeste pelas serras Parima e Pacaraima, divisoras de águas que drenam para o rio Orinoco. Por exemplo, os rios Maú, Cotingo, Panari e Uailan nascem na região das serras do Parque Nacional Monte Roraima e drenam para os rios Tacutu e Branco ao sul (APÊNDICE 2).

Na porção noroeste de Roraima, no complexo da Serra Parima estão as nascentes do rio Uraricoera, com destaque para os rios Parima e Auaris. O Uraricoera flui para leste, formando o maior arquipélago insular de Roraima, em seu médio trecho, com uma bacia de drenagem com 49.630 km<sup>2</sup>. Outro importante rio da região é o Tacutu, nasce na região da Serra Wamuriaktawa na Guiana e flui para o norte, ao longo da fronteira Brasil-Guiana em quase toda a sua extensão, controlado pela fossa tectônica (graben) do Tacatu, onde sofre um desvio para oeste na região do rio Ireng, confluindo ao rio Uraricoera cerca de 30 km a montante de Boa Vista, com uma área de 42.520 km<sup>2</sup> (APÊNDICE 4).

Estes dois principais sistemas fluviais da bacia hidrográfica do rio Branco formam uma área de drenagem total com 92.622 km<sup>2</sup>, dissecando (rebaixando) o relevo e contribuindo para a formação do maior sistema de áreas úmidas de Roraima, formado por lagos e igarapés interconectados. Após a confluência de ambos os rios, denomina-se de rio Branco, o qual flui por 570 km para o sul, formando uma planície fluvial de 3.400 km<sup>2</sup>, até sua foz com o rio Negro, desaguando na margem esquerda (APÊNDICE 4).

Figura 3 – Bacia hidrográfica do rio Branco



Fonte: Elaboração própria Roraima. Legenda: 1 – alto rio Branco; 2 – médio rio Branco; 3 – baixo rio Branco. a – rio Xeruíni; b – rio Itapará; c - Jauaperi; d – rio Jatapú.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, as descrições da morfologia do relevo foram através de sensoriamento remoto, com uso de imagens que permitem identificar formas agradacionais e formas denudacionais. As imagens que permitiram identificar e mapear, na escala 1:50.000, os processos agradacionais foram as do Landsat 8 (OLI), sendo possível delimitar as áreas úmidas como planícies fluviais e sistemas lacustres; e para processos denudacionais foram utilizados os modelos de elevação da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - radar interferométrico), reamostrados para resolução espacial de 30 metros, sendo possível delimitar limites de bacias hidrográficas, áreas de serras/morros, graus de dissecação do relevo, classes altimétricas e perfis topográficos.

As técnicas aplicadas foram úteis para identificar aspectos vegetacionais, áreas de acumulação sazonais e permanentes, graus de dissecação do relevo, controle estrutural (indiscriminado), perfis topográficos, declividade e compartimentação altimétrica, técnicas conforme Carvalho e Bayer (2008), Carvalho (2009a), Carvalho e Carvalho (2012b).

Os dados hidrológicos foram baseados nas estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas, interpretados a partir do sistema HidroWeb para o período de 1976 a 2013, obtidos para as estações da cidade de Caracará (trecho médio do rio Branco) e da estação da vila da Santa Maria do Boiaçu (trecho do baixo rio Branco).

Para os dados dos fluxos dos rios Tacutu e Uraricoera, foram realizadas medições em campo, com uso de correntômetro acústico (ADCP), nas proximidades da foz de ambos os rios com o Branco. Estes dados de campo foram necessários por não haver estação de monitoramento nos locais para obtenção dos dados. As atividades de campo foram em parceria com equipe regional do núcleo do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/RR).

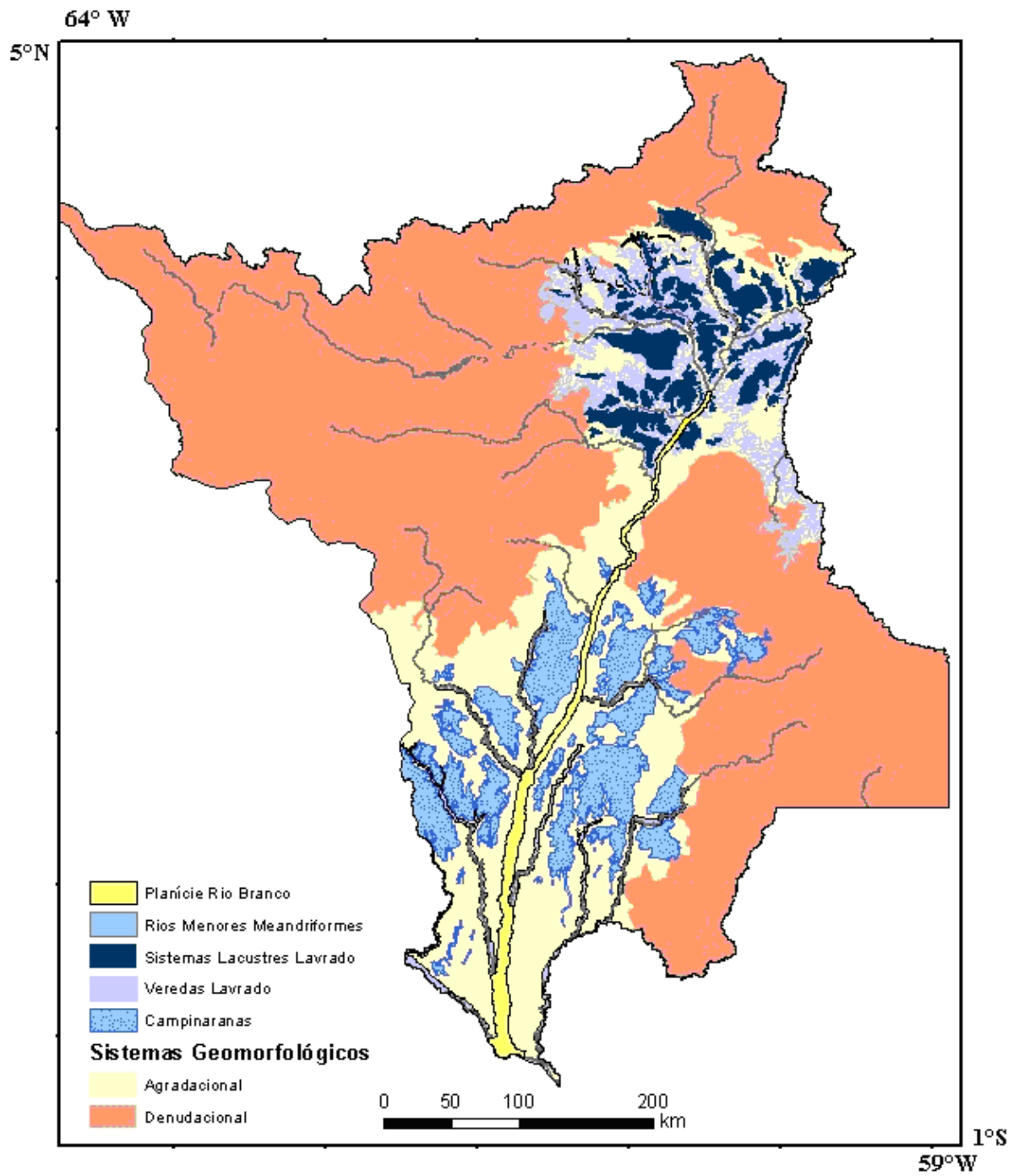
### 4 RESULTADOS E DICUSSÃO

Dois sistemas geomorfológicos são importantes para elucidar problemas referentes à gênese do relevo e seus aspectos hidrodinâmicos, os quais podemos classificar em agradacionais e denudacionais. A escala de estudo é importante, para que haja clareza no grau de predominância de um ou outro sistema.

Em Roraima, em escala regional, são representativos na região os processos denudacionais, com cerca de 135.000 km<sup>2</sup> (60% do Estado), seguido dos agradacionais 90.000 km<sup>2</sup> (40%). Estes ambientes estão situados em terrenos cujas cotas variam entre 40-2.300

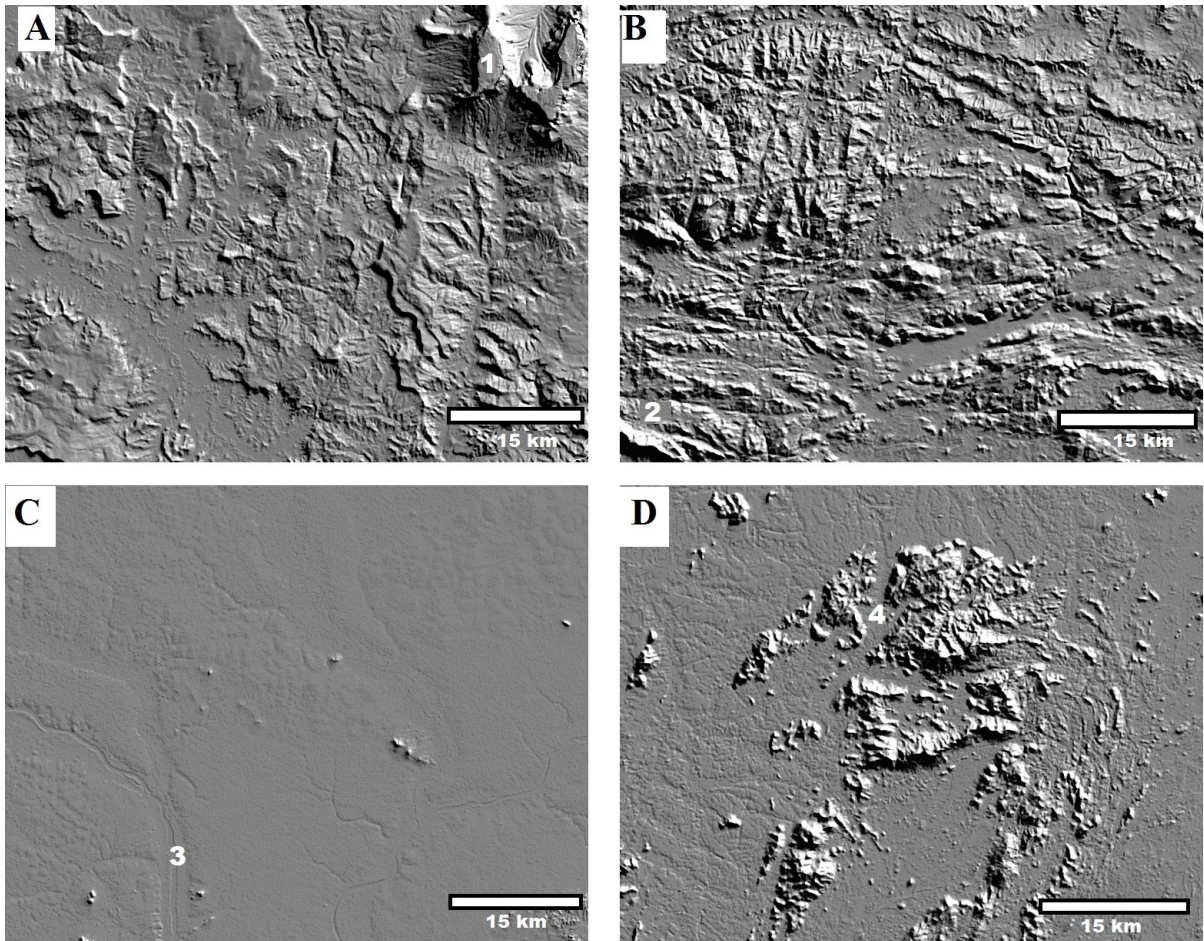
metros, nas seguintes proporções: 38% da região entre 40 e 100 metros, 47% entre 100-500 metros, menos de 13% acima de 500 metros (Figura 4). Com relação a importância do reconhecimento dos padrões estruturais do relevo na análise da paisagem, podemos exemplificar os seguintes padrões: região do Monte Roraima ( $5^{\circ}11'N$   $60^{\circ}49'W$ ), com dissecação moderada, Serra do Marari ( $4^{\circ}16'N$   $60^{\circ}46'W$ ), rio Uraricoera, fracamente dissecado e Serra da Lua ( $2^{\circ}27'N$   $60^{\circ}28'W$ ), nas proximidades da Guiana, uma região fortemente dissecada com relevo de transição com morfologias agradacionais e denudacionais (Figura 5).

Figura 4 – Ambientes denudacionais e agradacionais de Roraima e principais unidades associadas.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 – Graus de dissecação e controle estrutural do relevo.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: A) Região do Monte Roraima (5°11'N 60°49'W); B) Serra do Marari (4°16'N 60°46'W); C) planície do rio Uraricoera; D) Serra da Lua (2°27'N 60°28'W).

O principal sistema modelador dos ambientes agradacionais de Roraima é o rio Branco, com destaque para as planícies fluviais bem desenvolvidas, em que os principais rios formam pelo menos 17.500 km<sup>2</sup> de áreas úmidas.

Considera-se o rio Branco a partir da confluência dos rios Uraricoera/Tacutu, ~30 km a montante da cidade de Boa Vista, até a sua foz com o rio Negro. No entanto do ponto de vista geomorfológico, o rio Branco é a extensão do rio Uraricoera, tendo como afluente na margem esquerda o rio Tacutu. Critérios geomorfológicos como largura da planície de inundação, largura do canal e fluxo (vazão) tornam o rio Uraricoera mais expressivo que o Tacutu, por exemplo, planície fluvial mais desenvolvida em média de 3 a 4 km; canal mais largo, ~700 metros, vazão média superior a 150-300 m<sup>3</sup>/s relativo ao Tacutu, com uma área de drenagem aproximadamente 23% maior que a do Tacutu. São problemas geomorfológicos que precisam ser analisados e reinterpretados, por exemplo, a compartimentação do rio Branco. É problemático levar em consideração o trecho "alto rio Branco", sendo que este não

apresenta as características hidrogeomorfológicas e ecológicas apropriadas do ponto de vista teórico de um sistema fluvial, por exemplo, o clássico de Schumm (1977).

Com relação aos aspectos hidrológicos, na região de Boa Vista a permanência da cota do rio durante metade do ano (curva de permanência hidrológica de 50% para os 12 meses), encontra-se na cota média de 261 cm. No período chuvoso, 10% da permanência do fluxo é representado por cotas médias variando entre 550 a 792 cm, com uma média entre as máximas de 387 cm, para o período total de cheia (Abril a Setembro). Durante a vazante a cota média das mínimas é de 136 cm, em que 90% do nível do rio para encontra-se acima de 50 cm (dados para o período de 1967 a 2013).

Na cidade de Caracaraí (médio rio Branco) as cotas médias oscilam entre 217 cm (vazante) a 415 cm (cheia), com média anual de 316 cm. As médias das vazões máximas no segmentos de transição entre o alto e médio rio Branco, dados da estação de Caracaraí, estão em torno de 4.300 m<sup>3</sup>/s; as médias mínimas em torno de 2.000 m<sup>3</sup>/s, sendo que podem oscilar durante o ano com picos de ~10.800 m<sup>3</sup>/s (< 5% da curva de permanência - Q5) a 600 m<sup>3</sup>/s (90% da curva de permanência - Q90). As cheias máximas, para vazões acima de 10.000 m<sup>3</sup>/s, tendem a ter um fluxo médio de 11.200 m<sup>3</sup>/s. Sendo as duas máximas históricas ocorridas em 1976 e 2011, com vazões respectivas de 14.611 m<sup>3</sup>/s e 17.000 m<sup>3</sup>/s. Com base nos registros históricos analisados (1967-2013), as vazões com 95% de probabilidade de recorrência anual estão em torno de 6.000 m<sup>3</sup>/s; as com retorno em 10 anos estão em torno de 13.400 m<sup>3</sup>/s (10% de probabilidade); e máximas entre 15.500 a 17.000 m<sup>3</sup>/s possuem uma recorrência entre 35 e 50 anos, respectivamente, com probabilidades respectivas de 4% e 2%.

Em média, o rio Branco no trecho de Caracaraí transporta aproximadamente 35 mg/l de sedimentos em suspensão, com mínimos na estiagem com cerca de 10 a 20 mg/l e picos na cheia de 70 a 80 mg/l, caracterizando este rio não somente como de água branca típico, mas um padrão misto de água clara e branca (dados comparativos de campo e estações hidrométricas da ANA). Com relação ao pulso de inundação, este ocorre uma vez ao ano (monomodal) em que as águas acima de 5 metros permanecem cerca de 82 dias, sendo a referência a régua de Caracaraí. Estes aspectos sobre a dinâmica do transporte da carga sedimentar do rio Branco, têm mostrado sua relevância nos processos morfológicos. Em épocas do ano o trecho do alto rio Branco pode transportar em média 9.072 ton/dia de sedimentos em suspensão, considerando uma vazão média de 3.000 m<sup>3</sup>/s e concentração média de 35mg/l de sedimentos.

As outras unidades que se destacam na paisagem dos sistemas agradacionais são as formações de sistemas lacustres fluviais e os desconexos destes, formando ambientes

periodicamente alagáveis no lavrado (NE de Roraima) e nas campinaranas (centro-sul de Roraima) (Figura 4). Por exemplo, no lavrado estes sistemas abrangem 832,62 km<sup>2</sup>, formando um sistema hidrogeomorfológico e ecológico interconectado por campos e igarapés com 11.340 km<sup>2</sup> de extensão, constituindo morfologias típicas de sistemas deposicionais. As campinaranas no centro-sul de Roraima abrangem cerca de 8.000 km<sup>2</sup>. Estas áreas úmidas em Roraima, levando em consideração somente rios com planícies fluviais desenvolvidas, campos com sistemas lacustres, e áreas de influência de buritizais, ocupam uma área de 36.840 km<sup>2</sup>.

Além destes ambientes deposicionais (agradacionais), Roraima apresenta relevo acidentado, escarpado, formações tabulares e serranas, com morfologias típicas de forte controle estrutural, planícies fluviais pouco desenvolvidas (rios encaixados). São formações modeladas por intemperismo químico e físico, com predominância de morfologias denudacionais em patamares superiores (superfícies de aplainamento) situadas predominantemente ao norte do Estado.

De forma abrangente, destacam-se três compartimentos de aplainamento modelados pela drenagem do rio Branco. Um compartimento com cotas acima de 800 metros na região fronteira com a Venezuela, o sistema Parima-Pacaraima. Neste compartimento serrano predominam as morfologias tipicamente denudacionais, com dissecação forte e controle estrutural, vales encaixados, serras formando *hogbacks*, *inselbergs* e formações tabulares (*tepuyes*), as quais estão associadas a antigas superfícies regionais de aplainamento. Exemplos destas morfologias na região é o Monte Roraima; Kukenan-tepui e o Tepequém. O Sistema Parima-Pacaraima caracteriza-se por ser uma região instável do ponto de vista evolutivo da paisagem, atuando como frente de recuo de escarpa, rebaixando o relevo (dissecando-o) por atividade modeladora dos sistemas de drenagem, formando um complexo sistema de serras e morros, o que explica a origem dos *inselbergs* (testemunhos) desta região e dos *tepuyes*. Um exemplo desta descrição foi feita por Latrubesse e Carvalho (2006) para a região de Goiás, com a terminologia de zona de erosão recuante, onde as feições e processos são semelhantes aos de Roraima. Ocorrem também neste compartimento as planícies fluviais incipientes, as quais têm suave caimento em direção ao rio Branco.

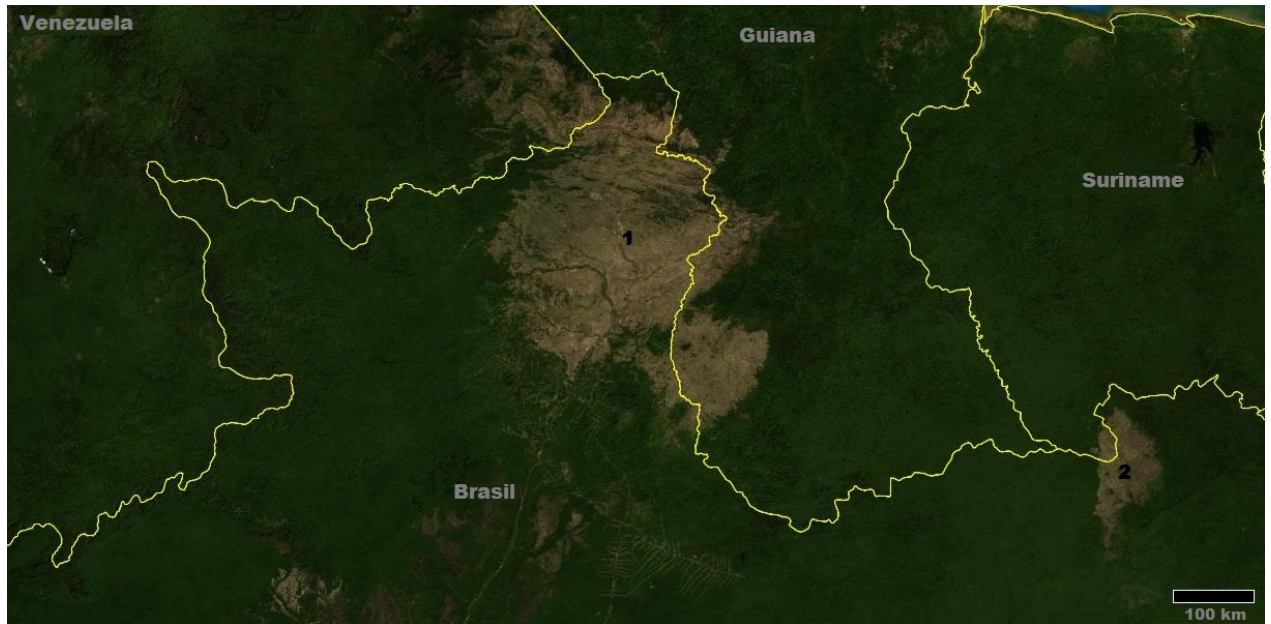
Um segundo compartimento intermediário, desenvolve-se entre as cotas 200 a 800 metros, intercalado por morfologias típicas denudacionais e agradacionais (prevalecendo a primeira), sendo aplainadas principalmente pelos rios Uraricoera, Cotingo, Surumu e Tacutu no extremo NE do Estado.



Um terceiro compartimento, com predominância de feições agradacionais, representa o nível de base regional de Roraima, controlado pelo sistema de drenagem do rio Branco, desenvolvendo-se no sentido geral NE-SW, é caracterizado pelos sistemas lacustres do lavrado e por algumas áreas abertas ao sul da região. São áreas com extensos depósitos aluvionares e planícies fluviais bem desenvolvidas, as quais atuam em cotas inferiores a 200 metros. São regiões estáveis, com dissecação fraca, caracterizada por uma superfície aplainada pela rede de drenagem dos rios Branco, Xeruini, Jufari, Jauaperi e Itapará. São rios que formam extensos terraços meandriformes no sul de Roraima.

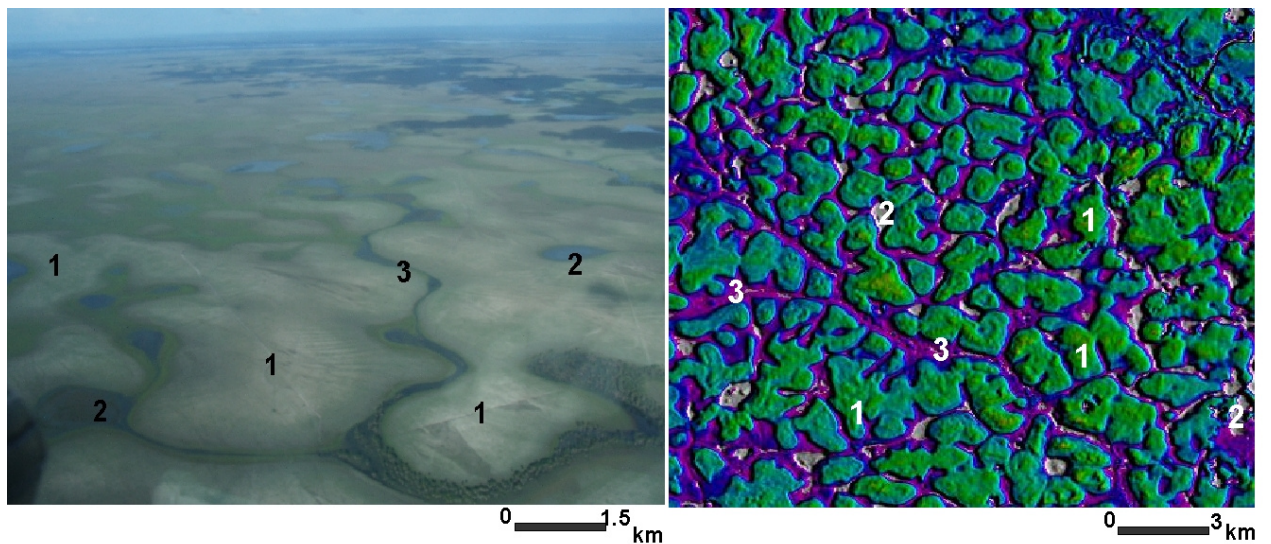
A região do lavrado, com 43.281 km<sup>2</sup>, é predominada por uma extensa superfície de aplainamento (terceiro compartimento) a qual se desenvolve em cotas entre 50-200 metros, representando 74% do domínio do lavrado. Esta superfície se estende em parte pelo segundo compartimento regional de aplainamento, conforme descrito anteriormente (Figura 6). Nesta região predominam colinas dissecadas, localmente conhecidas como tesos, formas originadas pela dissecação da drenagem em torno dos sistemas lacustres interconectados por igarapés inter-tesos, cuja declividade varia entre 0° - 5° em relevo plano com baixa energia, favorecendo o aporte de material sedimentar, basicamente arenoso, proveniente das áreas adjacentes elevadas (Figura 7). A baixa energia do relevo na região central do lavrado favorece a formação de um interessante sistema de lagos de formato predominante circular, não fluviais. A formação destes lagos está associada às águas pluviais e oscilação do lençol freático, são em sua maioria cabeceiras de canais de primeira ordem que dão origem aos buritizais (*Mauritia flexuosa*). São lagos predominantemente sazonais, rasos (~1 a 3 metros de profundidade).

Figura 6 – Região do lavrado, Roraima.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 - Fotografia aérea e modelo de elevação exemplificando as morfologias dos tesos, NE de Roraima (lavrado).



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – tesos; 2 – lagos; 3 – buritizais (igarapés).

Nesta região, a precipitação média é de 1643 mm/ano. O período chuvoso (Abril-Setembro) com média de 1384 mm/ano, e média mensal de 280 mm; o período seco (Outubro-Março) com média de 270 mm/ano, e média mensal de 45 mm.

No período chuvoso, a região dos lagos no lavrado formam um sistema interconectado entre si e aos igarapés e rios (conectividade flúvio-lacustre) ocupando uma

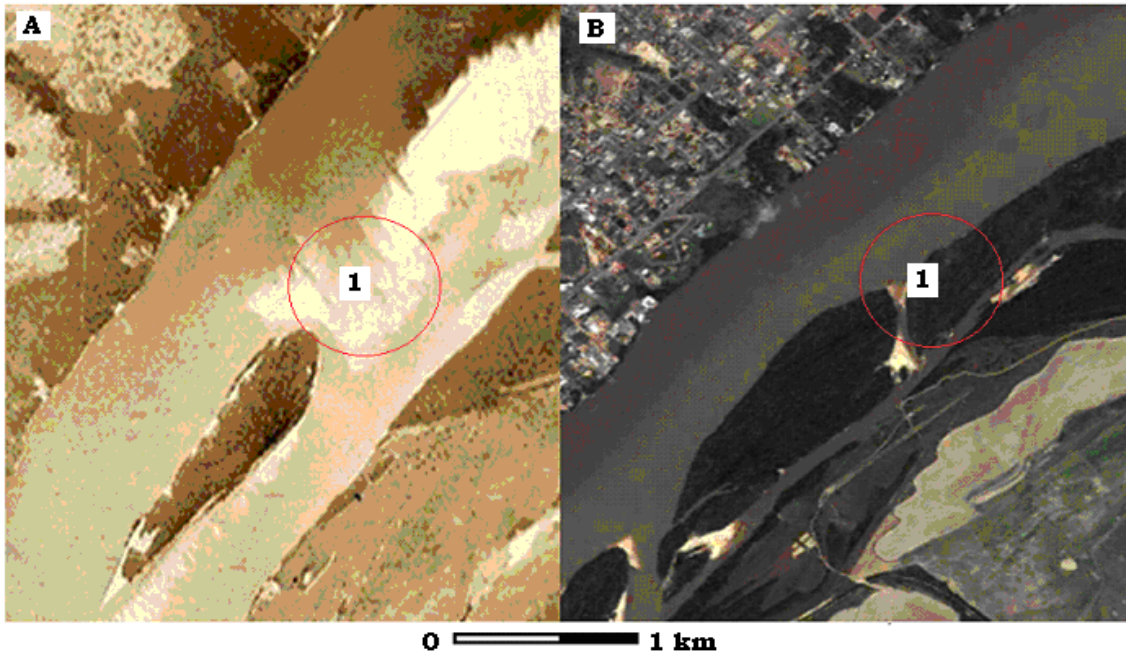
área total de 832,62 km<sup>2</sup> durante o período chuvoso, com tamanho médio de 45.000m<sup>2</sup>, podendo variar entre 2.300m<sup>2</sup> a 18km<sup>2</sup>. Durante a estiagem o somatório da área dos lagos é de 136,27 km<sup>2</sup>, em que variam entre 2.300 m<sup>2</sup> a 3km<sup>2</sup>, com área média de 23.200 m<sup>2</sup>.

Devido à condicionante topográfica e fatores geológicos evolutivos, na região do lavrado, as planícies fluviais são bem desenvolvidas, como as dos rios Uraricoera, Tacutu, Branco e Surumu. Nestas planícies fluviais ocorrem morfologias típicas de unidades agradacionais, como barras de areia e ilhas anexadas à planície, em constante dinâmica, sendo rios predominantemente aluviais, formando praias durante a estiagem favorecendo atrativo aos banhistas.

Com relação às morfologias agradacionais do rio Branco, foram contabilizamos 842 lagos ao longo de sua planície fluvial, sendo que destes, 111 pertencem ao alto, 80 estão no trecho médio e 651 lagos no baixo rio Branco. Quanto às ilhas, foram identificadas 148 ao longo do rio Branco, porém, como o rio é dinâmico, em 1975 haviam 129, um acréscimo de 19 ilhas até 2015.

Um caso interessante é o Complexo do Surrão-Praia Grande, complexo formado pelas ilhas Canhapucari (Praia Grande), São Pedro e São Bento (Surrão), em frente a cidade de Boa Vista. Este complexo com 7,76 km<sup>2</sup> está se anexando à margem esquerda do rio Branco a uma taxa de 16.705 m<sup>2</sup>/ano. No caso particular da ilha Canhapucari (Praia Grande), esta tem se desenvolvido longitudinalmente, com perda lateral. Em 71 anos houve um ganho de 155.240 m<sup>2</sup>, um acréscimo de 25,75% de sua área, com taxa anual de 2,18 m<sup>2</sup>. Esta paisagem do sistema fluvial do rio Branco é a mais dinâmica de Roraima, está em constante mudança, a uma escala anual (Figura 8)

Figura 8 – Complexo do Surrão-Praia Grande. 1 – área em constante processo de acresção lateral, anexando-se à planície do rio Branco pela margem esquerda.



Fonte: Elaboração própria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estado de Roraima abrange 3% da Amazônia e insere-se como uma região que representa as mais variadas tipologias morfológicas do relevo e vegetação, distribuídos neste domínio morfoclimático. Abrange relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com nível de base local representado pela formação de sistemas lacustres pelo solapamento do manto de intemperismo (saprólito), e planícies fluviais bem desenvolvidas; e sistemas erosivos, escarpados, como o Sistema Parima-Pacaraima, composto por morfologias denudacionais com forte controle estrutural e forte dissecação, o qual atua como frente de erosão recuante entre o sistema de drenagem do Orinoco (Venezuela) e do rio Branco (Roraima).

Dentre os diversos ambientes geo-ecológicos de Roraima, os sistemas lacustres é elemento presente em abundancia na paisagem do lavrado, possuem características peculiares tanto em sua morfologia e tipologia quanto nos processos gerados a partir de sua origem e evolução. Dentre essas características mais marcantes dos sistemas lacustres que fragmentam a paisagem do lavrado nas cotas mais baixas, está o grau de conectividade dos lagos, que se comportam de duas maneiras: durante o período chuvoso tem-se uma paisagem com lagos

interconectados entre si e a rede de drenagem da região; no período de estiagem essas conexões se dissipam resultando em uma paisagem com lagos perenes isolados e pouco conectados.

Os padrões de dissecação é um importante parâmetro sobre a gênese do relevo. Através de imagens orbitais altimétricas (radar) e ópticas, podemos observar em Roraima as formas agradacionais e denudacionais da região. São ambientes que devem ser descritos a luz de diferentes pontos de vista, sejam com base nas áreas de Geografia e particularidades entre a física e humana, sejam através das sociais com base na dinâmica populacional e étnica, sejam do ponto de vista jurídico, base para medidas sustentáveis, conservacionistas e agrária, visando uma gestão territorial/ambiental.

Percebe-se sobre esta paisagem, formada por ambientes lacustres, assim como os fluviais, é a mais dinâmica de Roraima, está em constante mudança a uma escala anual. Algumas outras são na ordem de décadas, como as áreas urbanas, povoados, e seu em torno; outras de milhares de anos, como as mudanças da cobertura vegetal de ordem natural, e feições do relevo, principalmente no Sistema Erosivo Recuante Parima-Pacaraima, divisor de águas da bacia hidrográfica do Orinoco (Venezuela) e rio Branco (Roraima).

Estes são resultados que por vezes não possuem aplicação imediata, e por outra são a base para contornar problemáticas de gestão territorial e ambiental, servindo de base metodológica para a caracterização dos aspectos fisiográficos da paisagem e o entendimento de sua dinâmica espaço-temporal.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, R.I., FERREIRA, C. Densidade básica da madeira de um ecossistema de "campina" em Roraima, Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v.34, n.4, p.587-591, 2004.
- BARBOSA, R.I.; MIRANDA, I.S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: Barbosa, R.I.; Xaud, H.A.M.; Costa e Souza, J.M. (Eds), **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**. Boa Vista, FEMACT. 2005. 202p
- BRIDGE, J.. **Rivers and Floodplains**. Ed. Blackwell Science. 380p. 2003.
- CARNEIRO-FILHO, A.; TATUMI, S.H.; Yee, M. 2003. Dunas fósseis na Amazônia. **Ciência Hoje**, 32(191): 24-29.
- CARVALHO, T.M. ; BAYER, M. 2008. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, p. 35-41, 2008.

CARVALHO, T.M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. Cap. 1. In: **Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central** v. 2. Editora UEA Ltda, Manaus, 2009a. p.3-17.

CARVALHO, T.M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. **Revista Geosul**, v.24, n.47, p.147-160, 2009b.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies. **Quaternary Science Journal**, v.61, p.146-155, 2012a.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Paisagens e Ecossistemas. In: Silveira, E.D.; Serguei, A.F.C. (Org.). **Socioambientalismo de fronteiras: relações homem-ambiente na Amazônia**. Ed. Juruá, Curitiba. 2015. p.43-68.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Sistemas de Informações Geográficas Aplicadas à descrição de habitats. **Acta Scientiarum human and social sciences**, v.34, n.1, p.79-90. 2012b.

CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. ;BOULET, R. On the genesis of soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia. **Experientia**, v.43, p.234-241, 1987.

FEARNSIDE, P.M. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, v.46, n.1/2, p.115-158, 2000.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Sci. Biol. Sci**, v.30, n.4, p.379-390, 2008.

FURCH, K. Chemistry of várzea and igapó soils and nutrient inventory of their floodplain forests. In: **The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System** (Junk, W.J. Ed.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1997. p.47-67.

HEYLIGERS, P. Vegetation and soil of a white-sand savanna in Suriname. In: *The Vegetation of Suriname, Lanjouw and Verstugh*. (Org.Heyligers, P) Vol. III. 1963. p. 1-148 .

HUBER, O. Consideraciones sobre el concepto de Pantepui. *Pantepui* I, v.2, p.2-10, 1987.

IMLER, U. Inundation Forest Types In Vicinity of Manaus. *Biogeographica*, v.8, p.17 – 29, 1977.

IRION, G. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene times. In: **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**. (Org. Sioli, H). Junk Publishers, Dordbrecht, 1984. p. 201–214.

IRIONDO, M. Modeolos Sedimentários de Cuencas Continentales: Lãs Llanuras de Agradación. In: **1 ° Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos, 1° exposición de bienes y Servicios Producidos em Latinoamerica para la Industria Hidrocarburífera**. Vol. I:81-9 8, Bs. As. 1986.

JUNK, W.J., PIEDADE, M.T. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: **The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System** (Org. Junk, W). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 1997. p.147-181.

KNIGHTON, A.D.. *Fluvial Forms and Processes: A new perspective*. Arnold, London. 320p. 1998.

LATRUBESSE, E.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia. Governo do Estado de Goiás e Distrito Federal**, Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração – 2 – Série Geologia e Mineração, 2006, 127p.

LATRUBESSE, E.M.; FRANZINELLI, E.. The Late quaternary evolution of the Negro river, Amazon, Brazil: Implications for Islands and Floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology*, v70. 372-397p. 2005.

LATRUBESSE, E. M.; NELSON, W. “Evidence for Late Quaternary Aeolian activity in the Roraima–Guyana Region”. In.: Rev. *Catena*. 43, 2001. pp.63-80.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P.. *Fluvial process in Geomorphology. San Francisco*: H.W. Freeman. 1964.201p.

LISBÔA, P.L. 1975 . Estudo sobre a vegetação das campinas amazônicas. *Acta Amazônica*, v.59, n.3, p.211-223, 1975.

LOPES, A.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M.F. Herbáceas aquáticas em seis igapós na amazônia central: composição e diversidade de gêneros. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.8, n.1, p.5-17, 2013.

MANGELSDORF, K.; SHEURMANN, M.. *River morphology – A guide for geoscientists and engineers*. Berlin Heidelberg New York: Springer - Verlag –New York. 25p. 1990.

MELACK JM, HESS LL. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: *Amazon Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management* (Orgs. Junk W.; Piedade, M.; Wittmann F.; Schöngart, J.; Parolin P. Ecological Studies 210, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2010. p. 43–59.

MELACK, J.M., HESS L.L., GASTIL, M., FORSBERG, B.R., hamilton, S.K., LIMA, I.B.T., NOVO, E. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. *Global Change Biology*, v.10,p.530-544, 2004.

PIKE,R.; EVANS,I.; HENGL,T. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Pp. 3-30. In: Hengl,T ;Reuter,H (eds.). *Geomorphometry: Concepts, Software and Applications*. Amsterdam, Elsevier Ed. quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin (56):275-370.

- PRANCE, G.T. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. I . Introdução a uma série de publicações sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. *Acta Amazonica*, v.5, n.3, p.207-209, 1975.
- RAMONELL, C.G.; AMSLER, M.. *Metamorphosis Processes (1992-2000) of the Quinto River, Argentina*. In: International Symposium on Environmental Hydraulics, Arizona, USA. 101-105p. 2001.
- RICHEY, J.E.; MELACK, J.M.; AUFDENKAMPE, A.K.; BALLESTER, V.M.; Hess, L.L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, v.416,n.6881, p.617-620. 2002.
- SANDER, C. ; CARVALHO, T.M. ; GASPARETTO, N. Breve síntese da dinâmica fluvial do rio Branco, nas adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, p. 60-69, 2013.
- SCHUMM, S. A. *The Fluvial System*. Ed. John Wiley and Sons, Nova Iorque. p.338. 1977.
- STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Am. Bull.* V.63. 1117-11142p.
- VANZOLINI, P.E.; CARVALHO, C.M. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brasil Sauria: Teiidae . *Papéis Avulsos de Zoologia*, v.37, p.73-226. 1991.
- WITTMANN, F., ANHUF, D., JUNK, W. J. Tree species distribution and community structure of central Amazonian várzea forests by remote sense techniques. *Journal of Tropical Ecology*, v.18, p.805 – 820, 2002.



## APÊNDICE 2

### ASPECTOS DINÂMICOS DO SISTEMA FLUVIAL DO RIO BRANCO, ESTADO DE RORAIMA, AMAZÔNIA SETENTRIONAL

#### RESUMO

O objetivo deste texto é caracterizar alguns aspectos da bacia hidrográfica do rio Branco, relacionados à dinâmica morfológica e hidrológica do canal, inserindo este ambiente no contexto das áreas úmidas de Roraima. Foram utilizadas imagens da série Landsat 1 e 8 e modelos de elevação da SRTM para análises morfológicas do relevo e da planície fluvial. Os dados hidrológicos foram obtidos das estações hidrométricas da ANA e levantamento de campo.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica do rio Branco, áreas úmidas, geomorfologia fluvial, Roraima.

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to characterize some aspects of Branco drainage basin, about the morphological and hydrological dynamics of the channel, inserting this environment in the context of Roraima wetlands. Was used images of Landsat series 1 and 8, and elevation models of SRTM for morphological relief and fluvial plain analysis. The hydrological data were obtained from hydrometric stations of ANA and field measured.

**Keywords:** Branco Drainage Basin, wetlands, fluvial geomorphology, Roraima.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema fluvial é um termo designado para um sistema de canais fluviais, de variados tamanhos, os quais se conectam conformando uma bacia de drenagem. A “bacia hidrográfica ou de drenagem”, a qual é limitada por terrenos mais elevadas denominados de “divisores de água”, que contribui com o aporte de água e sedimentos para o sistema fluvial principal e seus afluentes (SCHUMM, 1977; KNIGHTON, 1998; BRIDGE, 2003).

Contudo, os estudos sobre os sistemas fluviais tropicais são bastante recentes, com poucos estudos que antecedem a década de 1990 (Phillip et al., 1989; Pickup e Warner,

1984). Mesmo assim, tais estudos promoveram um grande avanço da Geomorfologia Fluvial. Latrubesse et al. (2005) destacam que os trabalhos tem apresentado temas voltados à processos morfogenéticos, processos sedimentológicos e hidrossedimentológicos, a hidrologia de inundação, e a relação entre o tectonismo e os processos fluviais. Sendo também importantes estudos relacionados aos processos ecológicos e morfométricos com aplicações, por exemplo, de técnicas de sensoriamento remoto (Junk, 1997; Junk et al., 2000; Wittmann et al., 2004; Carvalho e Latrubesse, 2004; Carvalho e Zucchi, 2009).

No Brasil, alguns dos principais estudos dentro da temática de dinâmica morfogenética em grandes sistemas fluviais, estão voltados para as bacias dos rios Paraná, Araguaia, Paraguai, assim como nos sistemas fluviais Amazônicos, porém, mais limitados, principalmente nos rios Amazonas e Negro (Mertes, 1990; Stevaux e Santos, 1998; Filizola, 1999; Bayer, 2002; Latrubesse e Stevaux, 2002; Morais et al., 2005; Latrubesse e Franzinelli, 2005; Alves e Carvalho, 2007; Bayer e Carvalho, 2008; Carvalho, 2009). Embora importantes trabalhos tenham sido desenvolvidos na região em estudo, estes abordam poucos sistemas fluviais do ponto de vista morfodinâmico, dado o limitado volume de dados da região, acesso e equipamentos, assim como recursos humanos.

Com relação ao tipo de ambiente pelos quais drenam os canais fluviais, estes podem ser classificados como rochoso (bedrock channels), em que fluem em rochas do embasamento, trecho o qual está comumente ligado às cabeceiras do sistema fluvial (nascentes), e possuem uma lenta dinâmica de processos geomorfológicos; canais aluviais (alluvial channels), sua característica principal é de possuir um leito arenoso, com barras e bancos arenosos formados por material sedimentar transportado pelo sistema fluvial, possuem uma grande variedade de formas (channels patterns), as quais respondem de formas diferentes às variáveis hidrológicas, climáticas, geológicas, e sedimentares; e por último os canais do tipo semi-controlados (semi-controlled channels), estes apresentam em certos trechos leitos rochosos ou aluvião resistente (BRIDGE, 2003).

Dentre os tipos de canais citados acima, os do tipo aluviais são os mais comuns nos grandes rios, e possuem maior campo para estudos, por apresentarem uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensa, podendo ser analisado processos migratórios do canal (avulsão), estudos da formação de barras e ilhas, processos de erosão e sedimentação, transporte de carga sedimentar, dentre outros. Segundo Schumm (1977); Bayer e Carvalho (2008) e Carvalho (2009) rios aluviais possuem uma grande dinâmica, devido a fácil erodibilidade de bancos e de seu leito, tornando este ambiente uma das paisagens que mais ocorrem mudanças, logo facilmente afetada por atividades humanas. Por exemplo o rio Branco enquadra-se neste tipo de canal. O qual possui uma dinâmica aluvial constante,

principalmente entre a confluência do Uraricoera/Tacutu e o rio Mucajaí. Por exemplo o a dinâmica do Complexo Surrão–Praia Grande, região insular da margem esquerda do rio Branco, próximo a Boa Vista, cujo o processo de anexação à planície fluvial tem se intensificado desde a década de 40, período o qual o Lab. de Métricas da Paisagem (dep. de Geografia/UFRR) tem como base para estudos dos processos morfológicos fluviais da planície e canal do rio Branco. Cujo objetivo é dar subsídios para a compreensão da relação entre o meio físico–biótico, possibilitando condições de estabelecer um estudo sobre a dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos de Roraima.

Como dito antes os canais aluviais apresentam uma variedade de formas, estas são controladas pela dinâmica aluvionar (mobilidade de barras e ilhas), clima, vegetação, geologia e gradiente longitudinal, os quais podem ser classificadas em meandriiformes, entrelaçados, multicanal e anastomosados. Alguns autores se restringem somente aos tipos de canais retilíneos, braided (entrelaçado) e meandriiformes (LEOPOLD E WOLMAN, 1957; MANGELSDORF E SCHEURMANN, 1990).

Schumm (1977) distinguiu os tipos de canais devido ao critério da carga sedimentar transportada. Três tipos de canais usando como critério o transporte de carga sedimentar puderam ser discernidos, são eles: com alta taxa de transporte de sedimentos de fundo, promovendo formações de barras centrais, alta relação entre largura/profundidade, elevado gradiente e alta instabilidade (padrão braided para outros autores); canais que possuem três formas de transporte, uma caracterizada pelo transporte de sedimentos em suspensão e estável, uma segunda forma caracterizada pelo incremento de sedimentos de fundo e barras de acreção lateral, e uma terceira mais instável, menos sinuoso, com maior predominância de sedimentos de fundo e surgimento de barras centrais (canais meandriiformes); e por último, podendo ser de duas formas, uma com predominância de sedimentos em suspensão, baixa relação entre largura/profundidade e baixo gradiente, e uma segunda forma com carga mista (transportando sedimentos em suspensão e de fundo), aumentos da relação largura/profundidade, e formação de barras laterais (canais retilíneos).

Para Bridge (2003) é necessário analisar diferentes parâmetros para poder classificar distintos tipos de canais, sendo basicamente definidos pela natureza da divisão do canal em barras ou ilhas dando um aspecto entrelaçado, e pela sinuosidade em diferentes segmentos do canal, assim a principal característica do canal pode ser dividida em canais-únicos e múltiplos canais.

Os canais fluviais são controlados principalmente por processos sedimentares e pelo regime do fluxo d'água, a interação entre regime do fluxo e transporte de sedimentos se intensifica nas estações de cheias, estágio em que promovem maiores alterações na

morfologia do canal, e em épocas de vazante esta dinâmica é consideravelmente reduzida pela baixa atividade de transporte sedimentar e fluxo de água, logo podemos dizer que os fatores que modelam um canal aluvial, influenciando diretamente em suas características é a interação mecânica entre o fluxo de água e a carga sedimentar (KELLER e MELHORN, 1978; BRIDGE, 2003).

Leopold e Maddock (1953) identificam três parâmetros chave para estudar as propriedades do canal fluvial, que são a largura, profundidade e velocidade do fluxo; e estas são facilmente controladas em função de variáveis como o regime do fluxo, descarga (vazão), declividade, propriedades físicas dos sedimentos, solo, clima, vegetação, dentre outros parâmetros da bacia de drenagem (LEWIN, 1978; BRIDGE, 2003).

No entanto, tem sido frequentemente utilizado a razão entre largura e profundidade ( $w/d$ ) como parâmetro principal na distinção nos tipo de canais, como exemplo a sinuosidade de canais meandriformes é inversamente proporcional à taxa  $w/d$ , porém, esta relação sinuosidade pela  $w/d$  apesar de ser quantitativamente importante, não depende somente deste parâmetro (DIETRICH, 1982).

Dentre diversas variáveis pertinentes à análise de sistemas fluviais, destaca-se a descarga líquida, ou seja, o fluxo de água por unidade de área e tempo ao longo do canal. Esta variável é importante para estabelecer critérios de classificação do regime fluviométrico, o qual dependendo principalmente das características morfológicas da bacia e clima pode apresentar um sistema monomodal (cheia previsível), com uma ocorrência ao ano, comum aos sistemas fluviais tropicais, exemplo Amazônia; e sistema bimodal (duas cheias ao ano). Este fluxo é importante não somente por dar dinâmica ao canal, carreando sedimentos e dando mobilidade às morfologias típicas fluviais, mas, por ter uma relação ecológica entre o sistema canal-planície de inundação, favorecendo uma ciclagem constante de nutrientes durante as fases de cheia (potamofase - aquática) e a de vazante (limnofase - terrestre).

Diferentemente das demais regiões amazônicas, nas quais os rios são alóctones na maioria, em Roraima o sistema de drenagem em grande parte é autóctone, têm suas nascentes situadas no escudo guianense. Estes rios fluem por diferentes unidades morfoestruturais, neste contexto, a caracterização dos rios e também das unidades morfoestruturais adquire especial relevância para o entendimento da dinâmica hidrogeomorfológica das áreas úmidas de Roraima.

Outra conjectura relacionada à rede hidrográfica desta região, é que as serras de Parima e Pacaraima, que fazem a divisa do Brasil com a Venezuela, atuam ecológica e geomorfológicamente como divisor de águas. Estas caracterizações regionais são importantes não só para contextualizar os ecossistemas regionais amazônicos, mas são também

importantes para o entendimento evolutivo das superfícies de aplainamento de Roraima (CARVALHO; CARVALHO, 2012a; CARVALHO; CARVALHO, 2015).

Um tipo de habitat que se deve dar importância é o de áreas abertas, como o lavrado e as planícies de areias brancas no centro sul do Estado. Estes ambientes são áreas-chaves para compreender aspectos evolutivos da paisagem, como os campos de paleodunas (Catrimani-Univini; Serra Grande; Bonfim; Viruá, dentre outros). São ambientes característicos das áreas úmidas da bacia hidrográfica do rio Branco, os quais são relevantes por abrigarem uma fauna e flora especializada a estes ambientes (endêmicas); e por manter e controlar a hidrodinâmica do fluxo superficial e subsuperficial da água na bacia.

## **2 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende a planície fluvial do rio Branco, principal rio que drena o Estado de Roraima, cujas nascentes se originam no Escudo das Guianas, região de fronteira entre Brasil, Venezuela e Guiana, desembocando na margem esquerda do rio Negro (Figura 1).

A hidrografia regional atua como um importante sistema modelador destes ambientes paisagísticos de Roraima, dissecando o relevo na direção predominante NE-SW, cuja drenagem é influenciada ao norte e noroeste pelas serras Parima e Pacaraima, divisoras de água com a bacia do rio Orinoco (Venezuela). As duas bacias hidrográficas formadoras do rio Branco são as dos rios Uraricoera e Tacutu.

A bacia hidrográfica do Tacutu localiza-se no Nordeste do Estado de Roraima, no flanco esquerdo da alta bacia hidrográfica do rio Branco, nasce na região da serra Wamuriaktawa na Guiana e fluindo para o norte, ao longo da fronteira Brasil com a Guiana em quase toda extensão, sendo os principais afluentes do rio Tacutu os rios Surumu e Cotingo. Bacia do rio Uraricoera localiza-se a Noroeste do Estado de Roraima, no flanco direito da alta bacia do rio Branco, sendo que passa a se chamar rio Uraricoera com a junção do Rio Parima com o igarapé Inajá. Suas nascentes situam-se no complexo das serras do Parima, do Auari e Urutanin, sendo divisa entre Roraima e Venezuela.

Conforme Franco et al.(1975) a compartimentação do relevo é pertencente às unidades morfoestruturais Planalto Residual de Roraima, borda SSE da bacia, e no seu interior o Planalto Dissecado Norte da Amazônia e Pediplano Rio Branco - Rio Negro, estruturados respectivamente nos arenitos da Formação Serra do Tucano e nos sedimentos areno-argilosos da Formação Boa Vista (CPRM, 1999). A bacia do Tacutu geomorfologicamente foi gerada por um processo de abatimento tectônico que propiciou a

instalação da bacia sedimentar em uma estrutura de graben (Gaben do Tacutu). A paisagem da bacia do Tacutu é composta por savana gramíneo-lenhosa caracterizando amplas áreas na confluência dos rios Tacutu e Parimé, destacando-se ao norte deste último e a leste do primeiro.

No alto curso do rio Uraricoera ocorrem relevos tabuliformes, representados pelas serras Uafaranda, Uratanin e Tepequém, esculpidos em rochas metamórficas (gnaisses e granitos). O controle estrutural é evidenciado pelos alinhamentos e formas de relevo de topos estreitos e alongados, definidos por vales encaixados. O médio Uraricoera possui como substrato rochas metamórficas (quartzitos, itabiritos, anfíbolitos) e rochas ígneas como o basalto. No baixo Uraricoera a extensa superfície plana se instala sobre as rochas vulcânicas do grupo Surumu, como também sobre granitóides das suítes Pedra Pintada e Saracura, além dos sedimentos da formação Boa Vista, que são predominantes na porção central e sul da depressão Boa Vista, onde se desenvolve vegetação do tipo savana com floresta de galeria (CPRM, 1999).

A região da planície fluvial do alto rio Branco (formada pela confluência dos rios Uraricoera e Tacutu) se desenvolve em um compartimento cujas cotas altimétricas estão entre 200 a 800 metros, intercalado por morfologias típicas denudacionais e agradacionais (prevalecendo a primeira), sendo aplainadas principalmente pelos rios Uraricoera, Cotingo, Surumu e Tacutu no extremo NE do Estado, região formada por extensos campos, conhecida como lavrado. Neste trecho os sedimentos do lavrado são quaternários, da Formação Boa Vista, compostos por areias, argilas e siltes, lateritas, de ambientes fluvio-lacustres (Ab'Saber, 1997). Estas áreas são recortadas por igarapés intermitentes, os quais chegam a secar em várias locais durante a estiagem (agosto-maio). Associados aos igarapés estão os buritis. A vegetação dos buritizais torna-se mais complexa ao se aproximar das matas galerias dos rios maiores. Recobrimo o solo ocorrem ciperáceas e gramíneas em proporções que podem variar de acordo com a granulometria e a umidade retida no solo (CARVALHO, 2009).

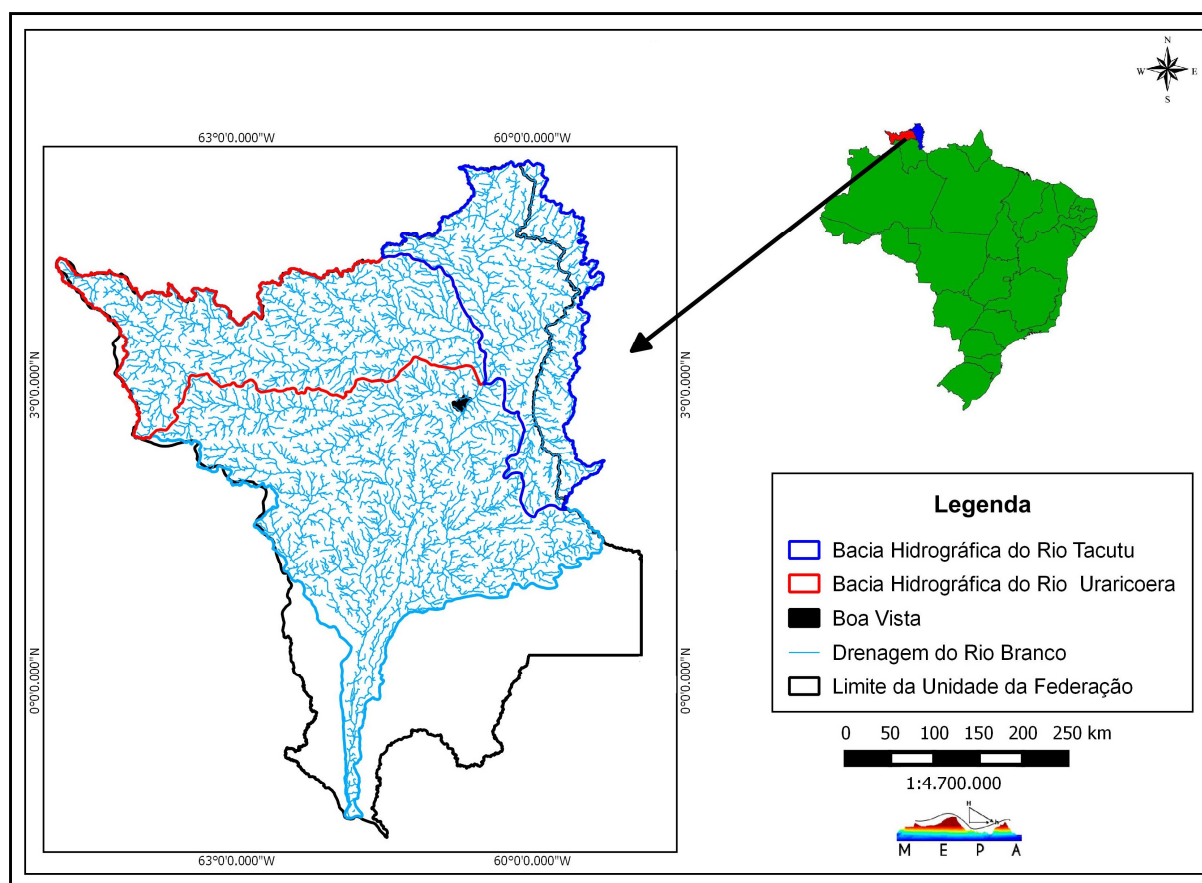
A região do médio e baixo rio Branco drena por um compartimento com predominância de feições agradacionais, em cotas inferiores a 200 metros, caracterizada por sistemas lacustres do lavrado e por algumas áreas abertas ao sul da região (campinaranas). São áreas com extensos depósitos aluvionares e planícies fluviais bem desenvolvidas.

A precipitação na região de Roraima varia entre 2400 mm/ano na parte oeste do Estado a 1100 mm na fronteira entre Roraima e Guiana. A forte concentração de chuvas na estação chuvosa (abril a setembro) propicia contrastes marcantes nos domínios vegetais e na hidrologia dos sistemas fluviais. Conforme Evangelista et al. (2008) nas áreas de maior concentração de chuvas os cursos fluviais apresentam grande variação no volume das

descargas, por exemplo, o rio Tacutu, possui uma variação do seu volume médio mensal de aproximadamente 170 vezes nos picos de cheia. Por outro lado, na região do rio Uraricoera a variação é menor, devido à distribuição mais homogênea das chuvas ao longo do ano, por exemplo, o rio Uraricoera apresenta uma variação de cinco vezes em seu volume médio mensal (SANDER et al., 2013).

De acordo com aspectos hidrográficos o Uraricoera quando comparado ao Tacutu, mostra picos de cheias mais prolongados e menos agudos, mesmo apresentando em média relevos mais altos e dissecados. Outro ponto interessante é que a curva de duração do fluxo das estações mostra que o formato das curvas na bacia do Uraricoera varia de côncavo, a côncavo/convexo, enquanto na bacia do Tacutu a curva de duração apresenta um formato côncavo voltado em direção as descargas máximas. (SANDER; WANKLER; CARVALHO, 2016).

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Branco, com destaque para as bacias dos rios Uraricoera e Tacutu, formadores da alta bacia do rio Branco, Roraima.



Fonte: Elaboração própria.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As descrições da morfologia do relevo foram através de sensoriamento remoto, com uso de imagens que permitem identificar formas agradacionais, ou seja, morfologias típicas de acumulação (planícies fluviais; sistemas lacustres; aluviões); e formas denudacionais, morfologias típicas de processos erosivos (serras e morros em geral).

As imagens que permitiram identificar processos agradacionais foram as da série Landsat 1 e 8; para processos denudacionais o modelo de elevação da SRTM (radar interferométrico da *Shuttle Radar Topography Mission*). Foi possível identificar aspectos vegetacionais, áreas de acumulação sazonais e permanentes, graus de dissecação do relevo (interpretação visual), controle estrutural (indiscriminado), perfis topográficos, declividade e compartimentação altimétrica. Os modelos da SRTM também serviram para a delimitação e extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Branco, no algoritmo HAND (*Height Above Nearest Drainage*), trabalhada ao nível do pixel de 30 metros, importante para uma melhor definição dos limites da bacia hidrográfica.

Foram utilizadas imagens de 1975 (Landsat 1/MSS) e 2015 (Landsat 8/OLI) para mapeamento das ilhas e lagos da planície fluvial do rio Branco, categorizados em classes relacionadas aos processos morfogenéticos, os quais têm uma relação de origem da unidade. As ilhas foram categorizadas em sete classes, indicando a sua posição relativa ao canal do rio, permitindo estabelecer uma referência quanto à sua dinâmica, por exemplo, ilhas laterais possuem maior chance de anexar à planície, ilhas anexadas estão em fase final de junção à planície. Fotografias aéreas de 1943 foram utilizadas para análise do trecho em frente à cidade de Boa Vista, trecho com maior dinâmica do rio Branco em relação a processos de formação de ilhas. Quanto aos sistemas lacustres, estes foram classificados em sete classes, indicando a sua origem, por exemplo, lagos de acreção lateral são formados pelo processo de acréscimo sucessivo de barras de areia à planície do rio, que posteriormente são estabilizadas pela vegetação e formam lagos.

Os dados hidrológicos foram analisados com base em dados de campo e estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) para as localidades de Caracaraí e Boiaçu. Os levantamentos de campo foram realizados na foz dos rios Uraricoera e Tacutu, por não terem uma estação de monitoramento para os dados de vazão. Foi utilizado correntômetro acústico (ADCP) modelo Rio Grande para medição de vazão conforme técnica Carvalho (2008), com apoio da equipe do Serviço Geológico do Brasil, núcleo de Roraima (CPRM/RR). Os dados das estações hidrológicas foram da localidade de Caracaraí (início do médio rio Branco) e de Santa Maria do Boiaçu, trecho final do baixo rio Branco. Foram



analisados dados desde 1967 até 2013, referentes ao nível do rio, vazão e sedimentos em suspensão. As análises hidrológicas (cota do rio e vazão) foram feitas no programa Hidrotools, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

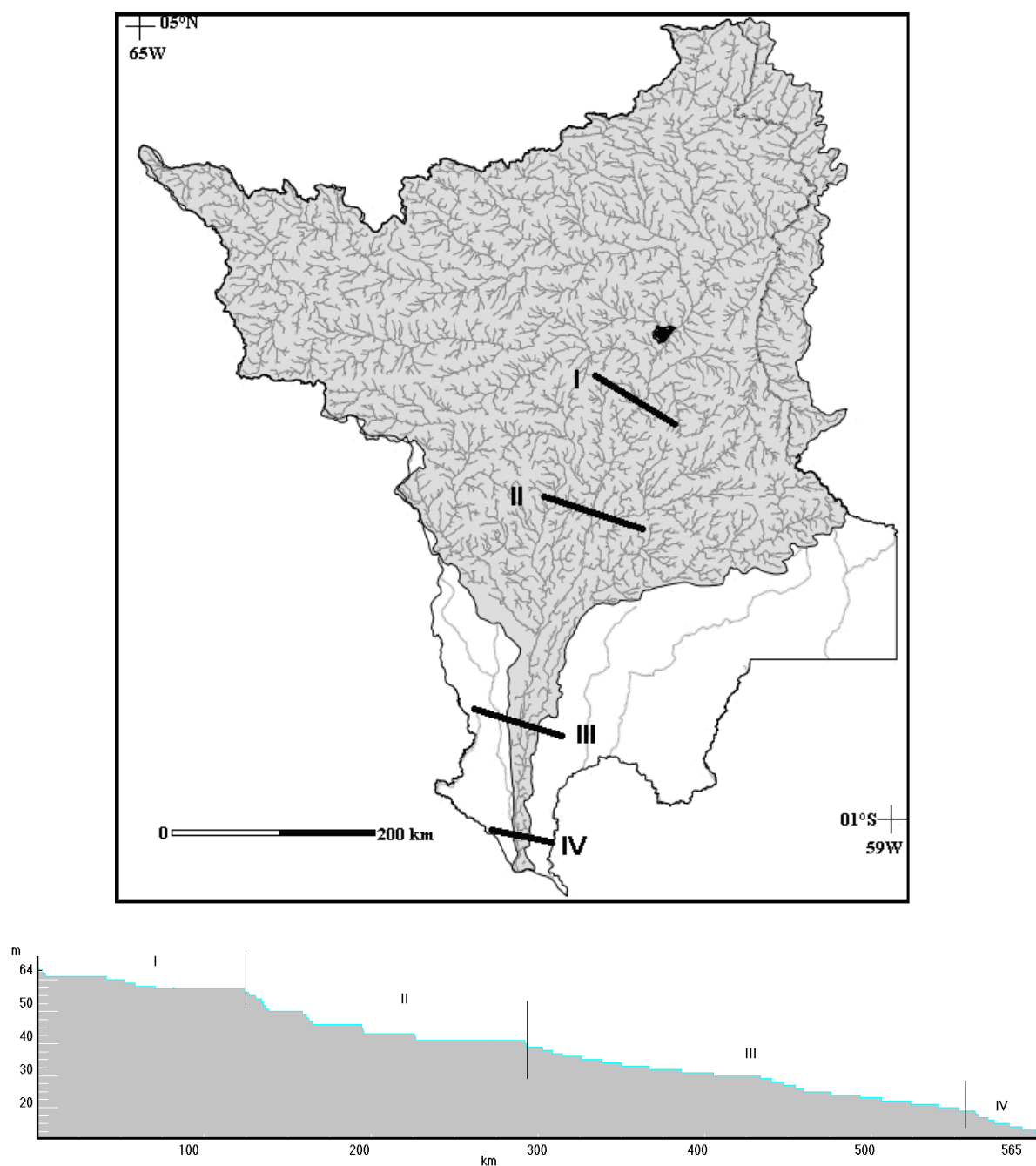
O principal rio que drena Roraima é o Branco, afluente da margem esquerda do rio Negro, o qual possui uma bacia de drenagem abrangendo 187.540 km<sup>2</sup>, perímetro de 3.253 km, drenando 83% de Roraima, sendo que 12.310 km<sup>2</sup> são pertencentes às nascentes da Guiana (Figura 1).

Considera-se o rio Branco a partir da confluência dos rios Uraricoera/Tacutu, ~30 km a montante da cidade de Boa Vista, até a sua foz com o rio Negro. No entanto do ponto de vista geomorfológico, o rio Branco é a extensão do rio Uraricoera, tendo como afluente na margem esquerda o rio Tacutu. Critérios geomorfológicos como largura da planície de inundação, largura do canal e fluxo (vazão) tornam o rio Uraricoera mais expressivo que o Tacutu, por exemplo, planície fluvial mais desenvolvida em média de 3 a 4 km; canal mais largo, ~700 metros, vazão média superior a 150-300 m<sup>3</sup>/s relativo ao Tacutu, com uma área de drenagem aproximadamente 23% maior que a do Tacutu. São problemas geomorfológicos que precisam ser analisados e reinterpretados, por exemplo, a compartimentação do rio Branco. É problemático levar em consideração o trecho "alto rio Branco", sendo que este não apresenta as características hidrogeomorfológicas e ecológicas apropriadas do ponto de vista teórico de um sistema fluvial, por exemplo, o clássico de Schumm (1977).

Devido à dinâmica morfológica do canal, este apresenta uma variada distribuição de ilhas, as quais podemos classificá-las de acordo com sua posição no canal, ilhas laterais, centrais, e em processo de anexação (descritas mais abaixo). Esta distribuição proporciona diferentes percursos ao longo do canal, i.e., graus de entrelaçamento. Considerando o rio Branco desde a confluência dos rios Uraricoera/Tacutu, o seu comprimento médio é de 566,228 km até a foz com o rio Negro, considerando os diferentes comprimentos do canal: 572,62 km pela margem esquerda, 562,94 km (central), 563,11 km pela margem direita, com índice de sinuosidade de 1.10, caracterizando-o retilíneo (considerando sinuosidade < 1.5) e um desnível de 49 metros, com gradiente de 8 cm/km.

Com base no perfil topográfico longitudinal, levando em consideração as principais quebras do gradiente do rio Branco (*knickpoints*), e aspectos morfológicos da planície de inundação, podemos compartimentá-lo em quatro segmentos (Figura 2).

Figura 2 – Bacia hidrográfica e perfil longitudinal ao longo do rio Branco, considerando este desde a confluência dos rios Uraricoera/Tacutu. São observadas quatro significativas mudanças de gradiente longitudinal. Segmentos I;II;III e IV.

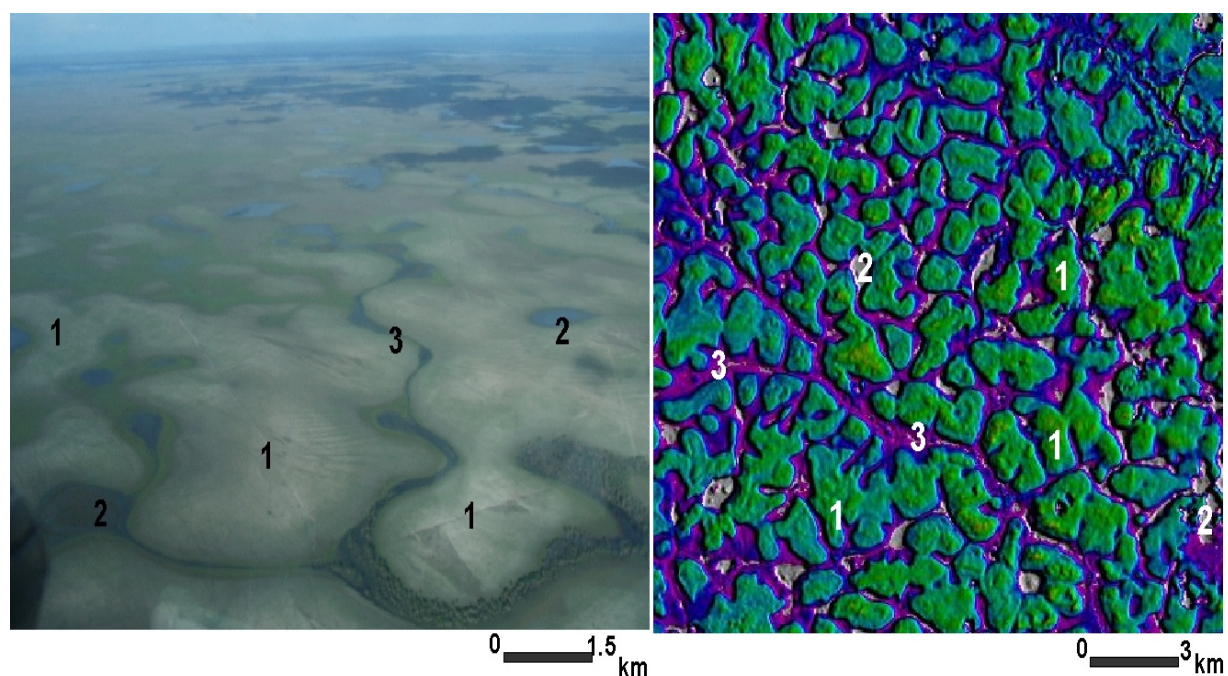


Fonte: Elaboração própria.

Compartimento I, desde a confluência dos rios Uraricoera/Tacutu até sul da ilha São Felipe (2,22°;-61,92°). Este trecho deve ser considerado como o alto rio Branco

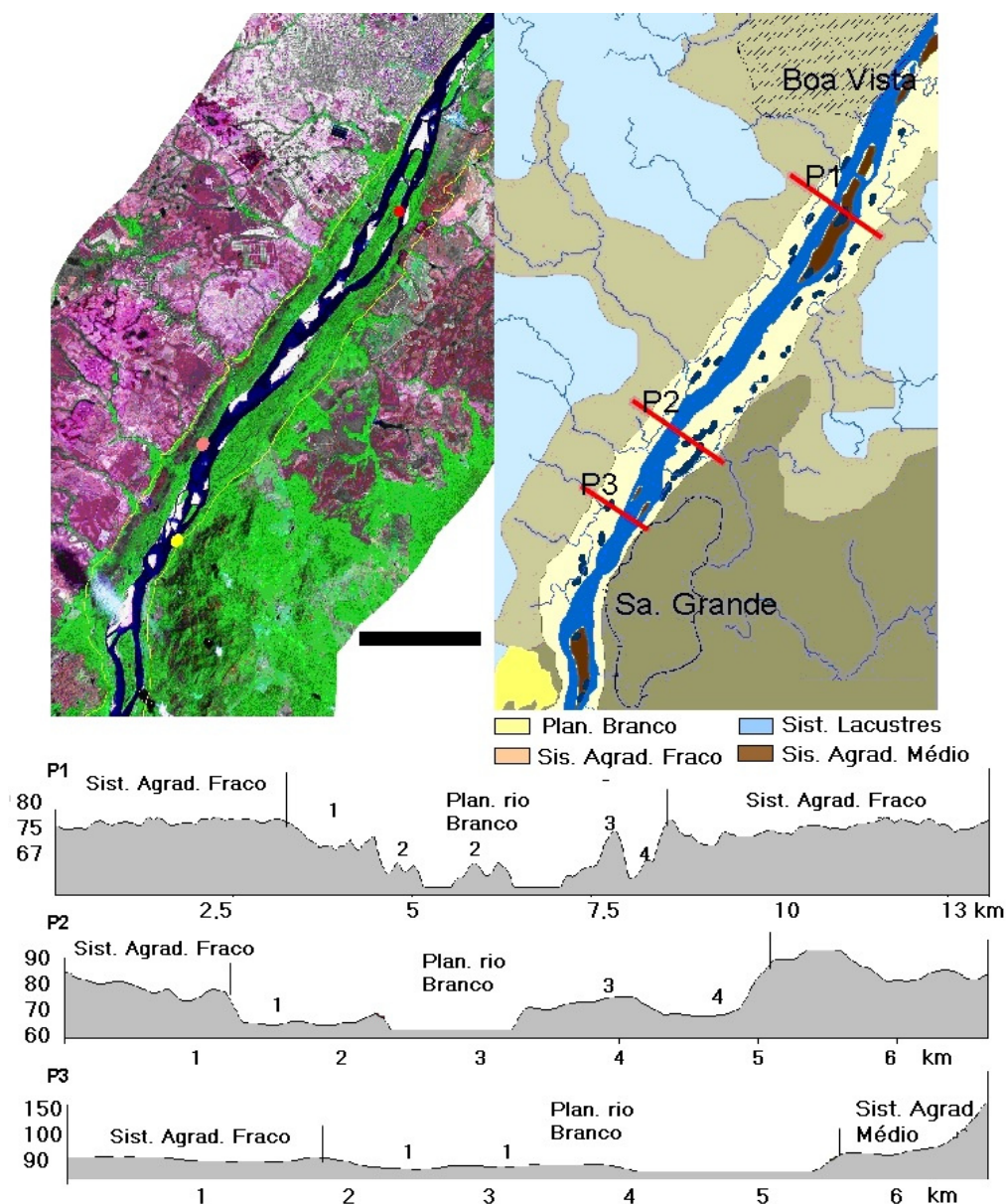
possuindo 107,20 km de comprimento, gradiente de 13 cm/km, com índice de sinuosidade 1,05 (retilíneo), a planície de inundação abrange 355,54 km<sup>2</sup>, perímetro de 234 km, cuja largura média é de 3,2 km, pouco desenvolvida sobre o controle estrutural do Grabén Tacutu, com afloramentos rochosos (canal semi-controlado). Nesta região merece um destaque para o domínio do lavrado, extenso ambiente campestre de Roraima com cerca de 43.000 km<sup>2</sup>, ocorrem compartimentos dominados por feições agradacionais, constituído por sistemas lacustres nas áreas abertas (lavrado), intercalados por pequenas elevações suaves denominadas de tesos (Figura 3), as quais atuam em cotas inferiores a 200 metros (~50 a 200 metros); região estável com dissecação fraca, caracterizada por uma superfície aplainada pela rede de drenagem dos rios Uraricoera, Tacutu e Branco (Figura 4).

Figura 3 - Tesos do lavrado



Fonte: Elaboração própria. Legenda: morfologias convexas (1); lagos circulares (2); igarapés associados a buritizais (3).

Figura 4 - Morfologias da planície fluvial do alto rio Branco; Parcelas amostrais da vegetação aluvial; Perfis topográficos.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – Terraço (formação de buritizais); 2 – *Levees* associados a lagos(planície e ilha); 3 – Ilha anexada a planície; 4 – Paleocanal por acreção lateral.

O compartimento II inicia-se ao sul da ilha São Felipe (2,22°;-61,92°), possui 151,67 km, com afloramentos rochosos na porção inicial (região do Bem Querer), ilhas de embasamento rochoso (granitos), gradiente de 6,59 cm/km, índice de sinuosidade de 1,10, formado por uma planície de inundação com 613,89 km<sup>2</sup>, perímetro de 325,10 km, cuja largura média é de 4,7 km, com maior desenvolvimento, presença de paleocanais, e vegetação

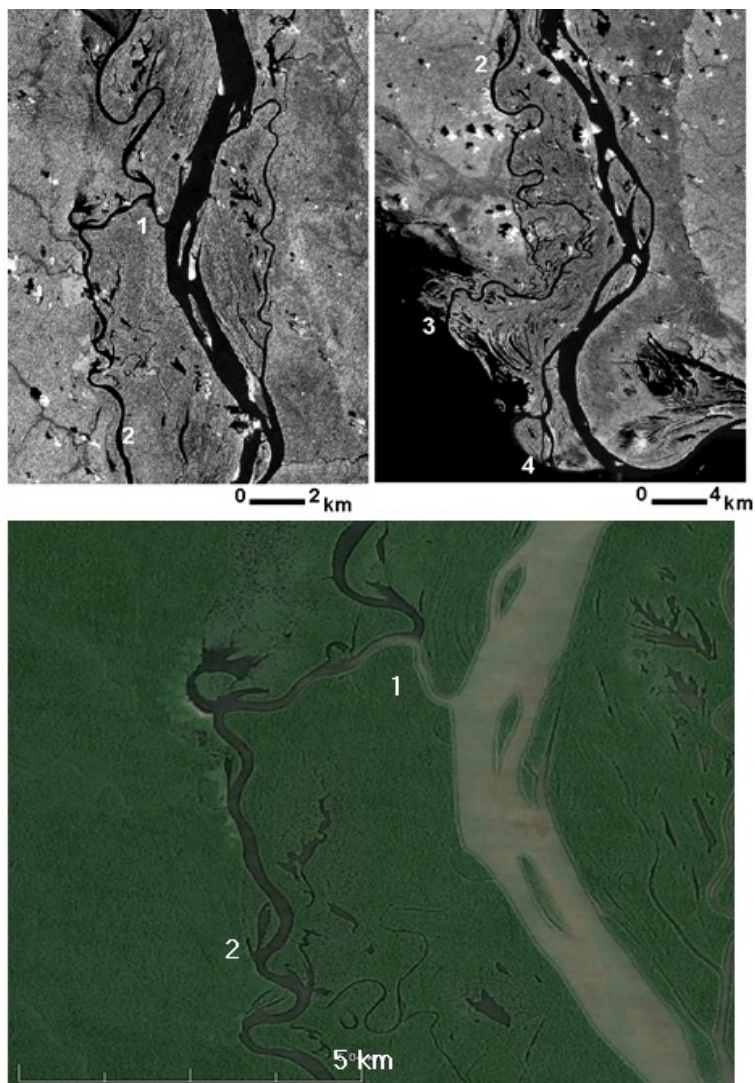
mais encorpada, trecho o qual caracteriza-se como médio rio Branco, até as proximidades a jusante da foz do rio Anauá.

O compartimento III inicia-se a ~8 km a jusante da foz do rio Anauá (1,05; -61,34), é característico por apresentar uma planície fluvial bem desenvolvida, extensos paleocanais, maior concentração de lagos, e ilhas bem desenvolvidas e mais estabilizadas. Este trecho possui 254,70 km de extensão, índice de sinuosidade de 1,08, com uma planície de inundação com 1.827,85 km<sup>2</sup>, perímetro de 521 km, gradiente de 7 cm/km, cuja planície fluvial apresenta uma largura média de 10 km.

O IV compartimento possui características similares ao III, baixo rio Branco, referentes a uma planície bem desenvolvida, com sistemas lacustres, ilhas estabilizadas, e diversidade de paleocanais. No entanto, este apresenta uma quebra de gradiente marcante, e uma planície de inundação confusa, a qual deve ser classificada como composta. O trecho possui 46,66 km de extensão até a foz do rio Negro, com uma planície de inundação de 405,22 km<sup>2</sup>, e 126,79 km de perímetro, com um acentuado gradiente de 14 cm/km. É o trecho de contato com o atual nível de base do rio Negro, marcado por significativas mudanças evolutivas da foz do rio Branco. Esta região também apresenta problemas de classificação quanto ao rio Xeruni.

De forma generalizada e sem um critério geomorfológico, o rio Xeruni é considerado afluente da margem direita do baixo rio Branco. No entanto, o rio Xeruni não é um afluente do rio Branco, é considerado afluente devido ao uma conexão com o Branco, nas proximidades do segmento IV, o que leva-nos ao erro pensar que esta conexão seria sua foz. Na verdade o Xeruni possui sua foz no rio Negro, o qual flui por 60 km de extensão desde a conexão que possui com o Branco, a qual é através de um paleocanal, capturado pela atividade meandriforme do rio Xeruni na planície fluvial do rio Branco. Por este motivo este trecho apresenta um confuso sistema de planície fluvial, com o Xeruni fluindo lateralmente por cerca de 80 km ao longo da planície do Branco, até sua foz no Negro (Figura 5).

Figura 5 - Baixo rio Branco (proximidades do segmento IV).



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – Paleocanal de contato entre os rios Xerui e Branco, tonalidade de cinza claro indica concentração de sedimentos em suspensão, mais elevada no rio Branco; contribuição do fluxo do rio Branco no Xerui; 2 – rio Xerui; 3 – Foz do rio Xerui; 4 – Foz do rio Branco.

#### 4.1 Afluentes e hidrologia do rio Branco

Os principais afluentes do Uraricoera são Paricaranã, Amajari e Parimé, cuja vazão média é de 1500 m<sup>3</sup>/s, formando uma área de drenagem de 49.630 km<sup>2</sup>. Os principais afluentes do Tacutu são o Surumu e Cotingo, cuja vazão média é de 1280m<sup>3</sup>/s, formando uma

área de drenagem de 42.528 km<sup>2</sup>. Os principais afluentes do rio Branco, margem esquerda, pertencentes ao compartimento I (alto rio Branco) são Quitauaú e Anauá. Cujo ambiente fluvial caracteriza-se por uma planície pouco desenvolvida, com largura média de 4 km, canal retilíneo (índice de sinuosidade 1,05) e significativo potencial energético, por exemplo, na região do Bem Querer, com afloramentos rochosos onde há uma quebra do gradiente longitudinal; e o rio Itapará, compartimento III (baixo Branco) cuja planície fluvial é mais desenvolvida, com sistemas lacustres associados à paleocanais e estabilidade dos sistemas insulares. Os afluentes da margem direita possuem maior porte fluvial, com planície desenvolvida, padrão meandriforme, e sistemas lacustres associados à paleocanais, como os rios Cauamé, Mucajaí (compartimento I), Catrimani e Água Boa do Univini (transição do médio para o baixo Branco).

Roraima possui duas estações climáticas bem definidas, chuvosa e estiagem. Para Boa Vista, região da confluência dos rios Uraricoera/Tacutu, a estação chuvosa inicia-se entre Abril-Maio e estende-se até Agosto-Setembro, a estiagem é característica entre Outubro a Março, com uma média pluviométrica, de 1643 mm/ano. A média de precipitação para a estação chuvosa é de 230,85 mm/ano, sendo no início da estação chuvosa de 210 mm/ano (Abril-Maio); em Junho-Julho no período de máxima precipitação, a média é de 330 mm/ano.

O período de Outubro a Março retorna a estiagem, com médias de 44,98 mm/ano, os meses de menor precipitação são Janeiro-Fevereiro com 29 mm/ano. A diferença média percentual da precipitação entre as duas estações é de 431,22% (dados analisados para o período de 1910 a 2010).

Na região de Boa Vista a permanência da cota do rio durante metade do ano (curva de permanência hidrológica de 50% para os 12 meses) é de 261 cm. No período chuvoso 10% da permanência do fluxo é representado por cotas médias variando entre 550 a 792 cm, com uma média das máximas de 387 cm (Abril a Setembro). Durante a vazante a cota média das mínimas é de 136 cm, em que 90% do nível do rio encontra-se acima de 50 cm (Outubro a Março).

Na cidade de Caracará, trecho representativo da transição entre o alto e médio rio Branco, as cotas oscilam entre 217 cm (média das mínimas) a 415 cm na cheia (média das máximas), com média anual de 316 cm (Figura 6). As médias das vazões máximas estão em torno de 4.300 m<sup>3</sup>/s; as médias mínimas em torno de 2.000 m<sup>3</sup>/s, sendo que podem oscilar durante o ano com picos de ~10.800 m<sup>3</sup>/s (< 5% da curva de permanência - Q5) a 600 m<sup>3</sup>/s (90% da curva de permanência - Q90). As cheias máximas, para vazões acima de 10.000 m<sup>3</sup>/s, tendem a ter um fluxo médio de 11.200 m<sup>3</sup>/s. Sendo as duas máximas históricas ocorridas em 1976 e 2011, com vazões respectivas de 14.611 m<sup>3</sup>/s e 17.000 m<sup>3</sup>/s (Figura 7). Com base nos

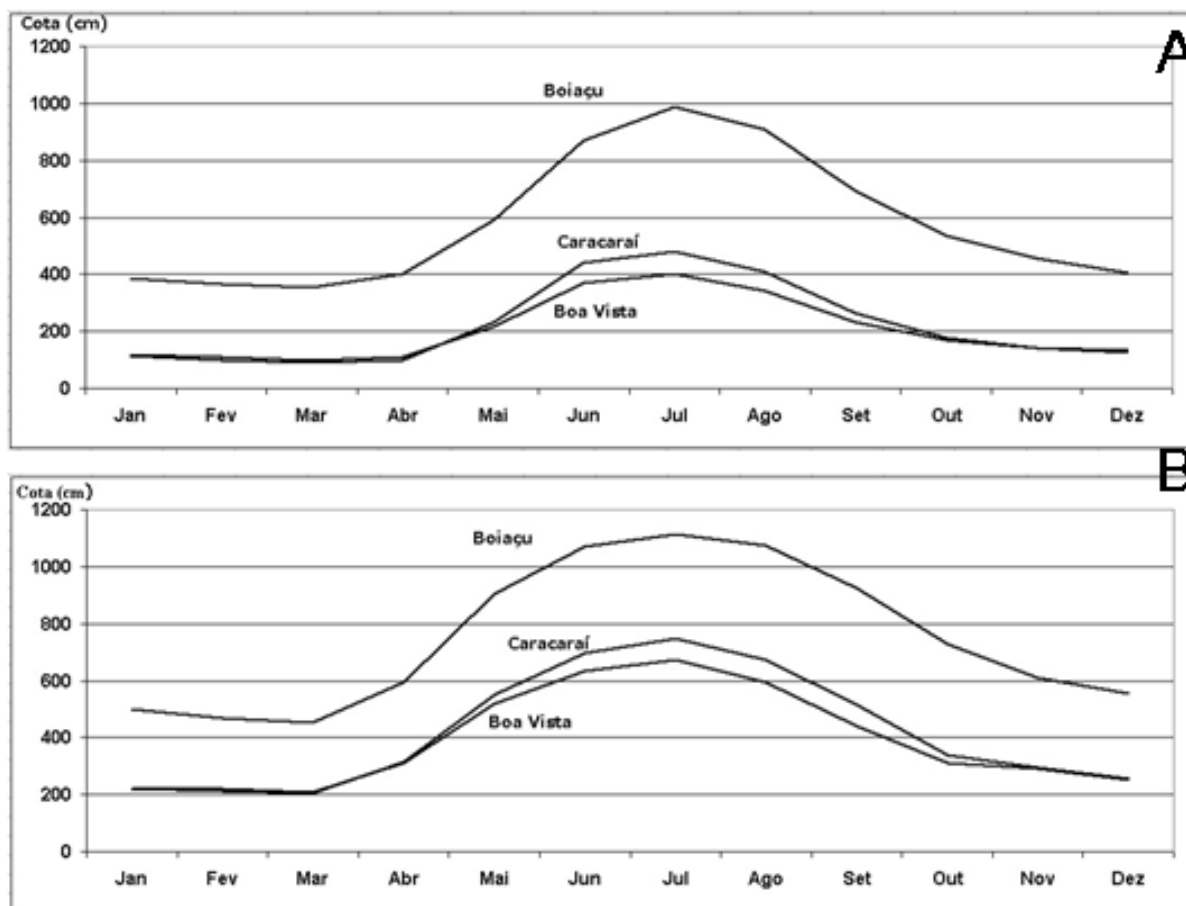
registros históricos analisados (1967-2013), as vazões com 95% de probabilidade de recorrência anual estão em torno de 6.000 m<sup>3</sup>/s; as com retorno em 10 anos estão em torno de 13.400 m<sup>3</sup>/s (10% de probabilidade); e máximas entre 15.500 a 17.000 m<sup>3</sup>/s possuem uma recorrência entre 35 e 50 anos, respectivamente, com probabilidades respectivas de 4% e 2%.

No compartimento III, baixo Branco, região de Santa Maria do Boiaçú, distante ~106 km da foz com o rio Negro, a cota do rio oscila entre a média das mínimas de 317 cm a 1156 cm (média das máximas). Com base na curva de permanência, o período das cotas mínimas é representativo no mês de Março, quando 90% do nível do rio permanece com 256 cm. O mês de Julho é o mês representativo das cotas máximas, 90% do rio permanece acima de 900 cm, com uma média de 1074 cm, um acréscimo de 251% entre as mínimas e máximas (Março e Julho). A vazão média para o mês de julho é de 8.000 m<sup>3</sup>/s. Durante o ano o rio tem a tendência de permanecer por 180 dias na cota 676 cm. Esta variação do nível do baixo rio Branco representa em média 181% a mais do nível do rio para Boa Vista (compartimento I) e 132% a mais com relação a Caracarái (compartimento II) (Figura 6).

Em média, o rio Branco no trecho de Caracarái transporta aproximadamente 35 mg/l de sedimentos em suspensão, com mínimos na estiagem com cerca de 10 a 20 mg/l e picos na cheia de 70 a 80 mg/l, caracterizando este rio não somente como de água branca típico, mas um padrão misto de água clara. Com relação ao pulso de inundação, este ocorre uma vez ao ano (monomodal) em que as águas acima de 5 metros permanecem cerca de 82 dias, sendo a referência a régua de Caracarái. Em épocas do ano o trecho do alto rio Branco pode transportar em média 9.072 ton/dia de sedimentos em suspensão, considerando uma vazão média de 3.000 m<sup>3</sup>/s e concentração média de 35mg/l de sedimentos, conforme metodologia em Carvalho (2009b) (Figura 7).

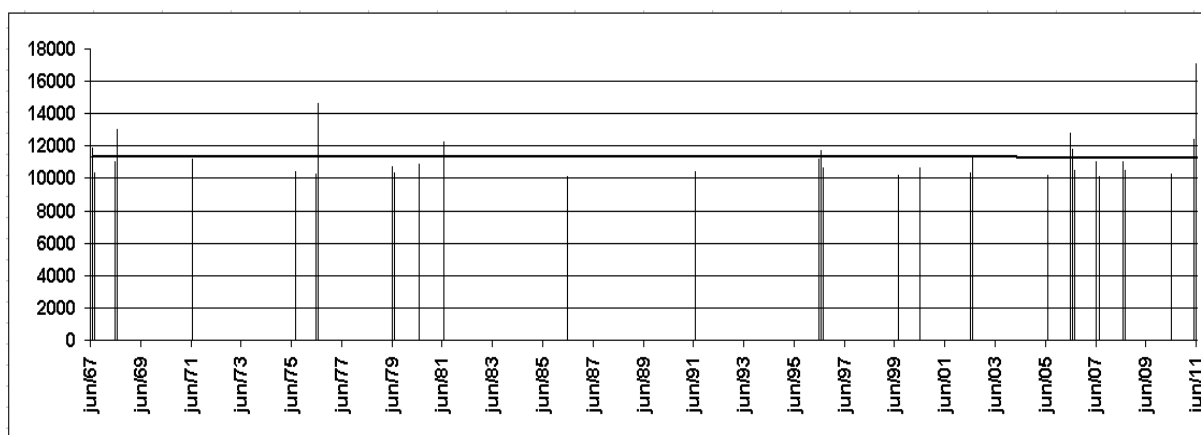


Figura 6 - Comparativo entre cotas x meses entre as mínimas (A) e máximas (B) para as cidades de Boa Vista (alto Branco), Caracarái (transição do alto Branco para médio Branco) e Santa Maria do Boiaçu (baixo Branco). Para o alto rio Branco o início de cheia ocorre em Abril e a vazante em Setembro/Outubro, com mínimas em Fevereiro/Março.



Fonte: Dados das estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 7 - Hidrograma das vazões máximas, acima de 10.000 m<sup>3</sup>/s para o período de 1967 a 2013, cidade de Caracarái, trecho final do alto rio Branco. Linha de tendência de 11.200 m<sup>3</sup>/s.

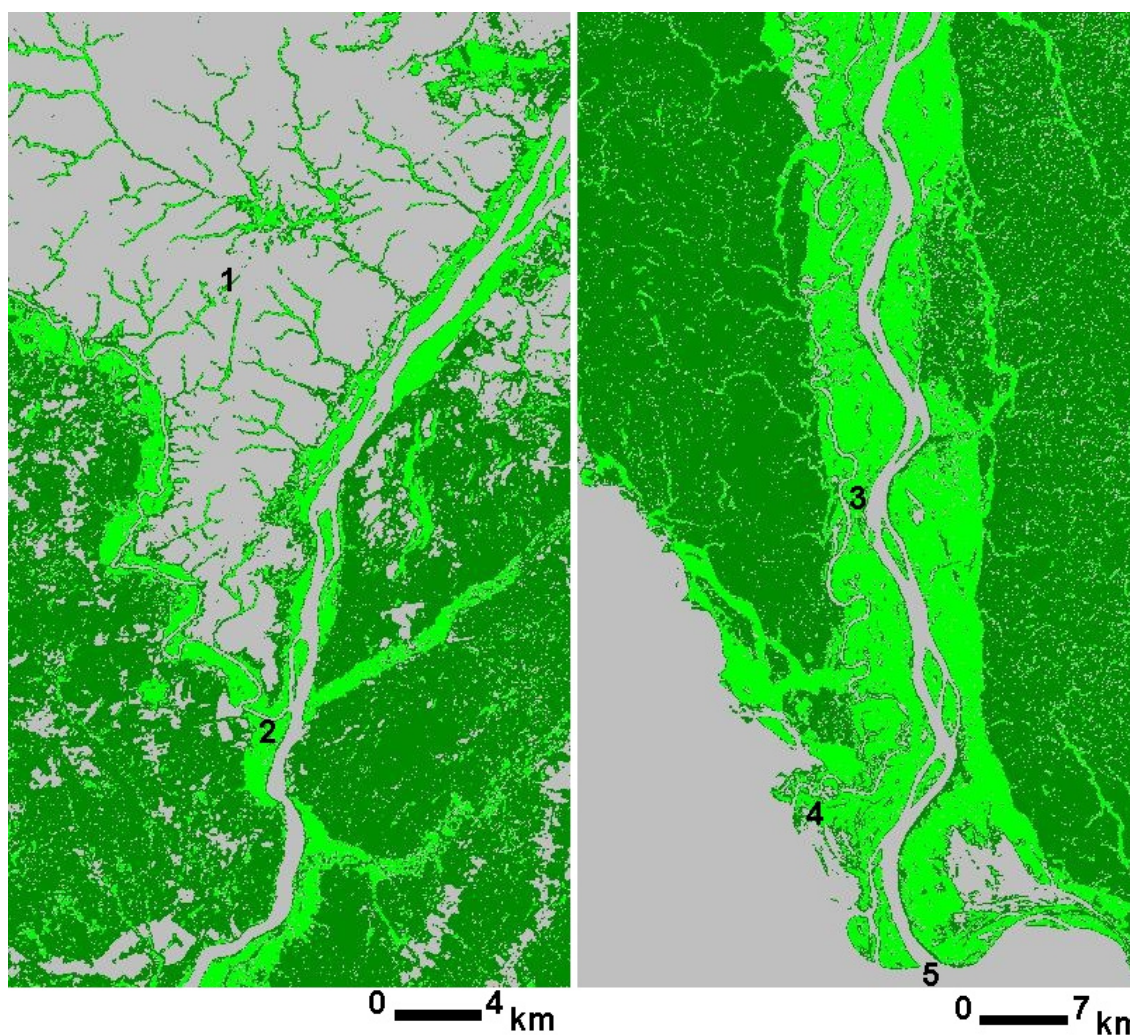


Fonte: Dados das estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas (ANA).

#### *4.1.1 Aspectos morfológicos do canal e planície fluvial*

O trecho do alto rio Branco está inserido estruturalmente no Grabén do Tacutu. Esta falha é responsável pelo confinamento do trecho do alto rio Branco, com pouco desenvolvimento de uma planície fluvial (Figura 8). Devido à morfologia do canal do rio Branco, este apresenta trechos de baixa sinuosidade a retilíneo, composto por ilhas aluvionares, em diferentes posições marginais e centrais em relação ao canal. Estas características favorecem com que o canal do rio Branco apresente diferentes classes de sistemas lacustres e ilhas, com morfologias associadas à paleocanais e planícies meandriformes de rios menores (afluentes).

Figura 8 – Em tons de verde claro vegetação aluvial (planícies fluviais) e verde escuro vegetação de terra firme.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: 1 – Veredas do lavrado; 2 – Planície pouco desenvolvida (alto Branco); 3 – Planície bem desenvolvida (baixo Branco); 4 – Foz do rio Xeruiuni; 5 - Foz do rio Branco.  
 Fonte: imagens Landsat 8 e modelo de elevação da SRTM.

A caracterização do balanço sedimentar de um rio é a relação entre a taxa de erosão e sedimentação, de fundamental importância para se entender a dinâmica do canal, migrações de barras arenosas e formações de ilhas. Esta dinâmica proporciona uma variedade de morfologias típicas, como paleocanais, áreas de escoamento impedido, acreção de barras arenosas, dentre outras. No caso dos rios que drenam as áreas agradacionais de Roraima, principalmente do lavrado e sul de Roraima, são considerados como canais do tipo aluvial.

Os canais do tipo aluviais, são os mais comuns nos grandes rios, apresentam uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensa, podendo ser analisado processos migratórios do canal (avulsão), formação contínua de barras e ilhas, processos de erosão e sedimentação, transporte de carga sedimentar, dentre outros, modificando sua morfologia e muitas vezes nos influenciando a erros de interpretação, como no caso do rio Xeruiuni. Como dito anteriormente, este rio possui uma dinâmica em formar canais meandriformes, e paleocanais do tipo espiras de meandro, dos quais podem ser capturados por rios maiores,

como neste caso, o contato de um paleocanal conectando o rio Branco com o Xeruíni, sendo que o fluxo principal do Xeruíni flui para sua foz no rio Negro (Figura 5).

Segundo Bayer e Carvalho (2008) e Carvalho (2009b) rios aluviais possuem uma grande dinâmica, devido a fácil erodibilidade de bancos e de seu leito, tornando este ambiente uma das paisagens que mais ocorrem mudanças, logo facilmente afetada por atividades humanas. Com relação aos ambientes de barras e ilhas, estas são morfologias dinâmicas, em constante mudança. Entendemos por barras arenosas, pacotes sedimentares móveis (areias variando com textura fina, média e grossa), emersas sem cobertura vegetal. Quando ocorre processo de estabilização destas feições, é devido à migração de vegetação pioneira, com gramíneas e arbustos, servindo de barreira para sedimentos mais finos. Este processo permite que espécies mais exigentes a nutrientes colonizem este local, como a *Cecropia polystachya* (embaúba), indicador de ambiente recentemente perturbado.

Estes processos de mobilidade de morfologias fluviais, como estabilização de barras arenosas formando ilhas é comum no rio Branco, por ser um rio com maior carga sedimentar de fundo. Percebe-se ao longo do rio Branco uma tendência de estabilização de ilhas, favorecendo o incremento de ilhas por anexação lateral ou soldamento (bancos acrescidos), e formação de lagos. Estes processos possuem maior dinâmica no alto trecho, trecho com relativa instabilidade em relação ao baixo rio Branco, estável e bem desenvolvido.

O processo de anexação de ilhas à planície de inundação ocorre mais significativamente ao longo da margem esquerda e porção central do canal, caracterizado por trechos com maior grau de entrelaçamento, perceptível pelo maior comprimento do canal até sua foz com 572 km de extensão, cerca de 10 km a mais que pela margem direita.

Foram classificadas ilhas de acordo com sua posição no canal, em laterais, centrais e anexadas (Tabela 1). Observou-se que desde 1975 a 2015 ocorre um progressivo aumento de área insular, com 19 ilhas formadas, sendo as categorias mais representativas as por anexação na margem esquerda e central, e pouca significância para processos de sedimentação na margem direita. Assim como as barras arenosas, as ilhas laterais predominam o canal do alto rio Branco e início do médio trecho. Elas são formadas pelo processo de estabilização das barras arenosas, as quais migram lateralmente, próximas às margens do canal, e passam a se estabilizarem por acreção lateral e horizontal, sendo colonizadas pela vegetação pioneira (herbáceas e arbustos).

Tabela 1 – Classificação das ilhas aluviais do canal do rio Branco, para os anos de 1975 e 2015.

Classe	1975	2015	Acréscimo
Lateral esquerda	37	38	1
Central	42	47	5
Anexada esquerda	9	11	2
Lateral direita	23	27	4
Anexada direita	5	11	6
Centro direita	5	6	1
Centro esquerda	8	8	0
Total	129	148	19

Fonte: Elaboração própria

Um dos trechos mais dinâmicos do rio Branco, é o segmento I, principalmente nas proximidades de Boa Vista, região a qual denominamos de Complexo Surrão-Praia Grande, formado pelo processo de estabilização da Ilha São Bento do Surrão e Ilha Canhapucare (Praia Grande).

Desde 1943 houve uma considerável evolução dos processos de anexação das barras arenosas e ilhas na margem esquerda do rio Branco, Complexo do Surrão-Praia Grande, a qual se deu por estabilização lateral e longitudinal (Figuras 9 e 10). Entre os anos de 1943 a 2014, ocorreu uma ampliação da ilha da Praia Grande principalmente no eixo longitudinal. O comprimento da ilha em 1943 apresentava uma extensão 2,04 km; para 1975 foi de 2,41 km; 2003 aumentou para 2,41 km, e em 2014 com 2,47 km. Um ganho de 436 metros em 71 anos, representando uma taxa de 6,14 m/ano, acréscimo longitudinal de 21,35% para o período analisado.

Com relação à área, em 1943 a ilha tinha 602.900 m<sup>2</sup>, em 1975 foi de 621.480 m<sup>2</sup>; 2003 com 737.590 m<sup>2</sup> e 2014 com uma área de 758.140 m<sup>2</sup>. Em 71 anos a área da ilha aumentou em 155.240 m<sup>2</sup>, um acréscimo de 25,75% na área, com ganho de 2.186 m<sup>2</sup>/ano.

Com relação à dinâmica lateral da ilha, em 1943 possuía uma largura de 511,74 metros; em 1975 com 376,87 metros; 2003 com 420,07 metros e em 2014, com 435,56 metros. Entre 1943 a 1975 houve uma perda lateral de 134,86 metros, o que representa uma perda 4,21 m/ano. No entanto, a partir de 1975 houve um progressivo acréscimo lateral, com ganho de 68,68 metros até o 2014 (acréscimo anual de 1,76 metros/ano).

Referente a largura do canal do rio Branco houve significativa alteração no trecho do Complexo Surrão-Praia Grande. Durante o período analisado houve uma perda de 271,50

metros da largura do canal, o qual em 1943 tinha 1.164,63 metros de largura e em 2014 com 895,13 metros. No entanto, na porção central da ilha, margem esquerda da Praia Grande, houve pouca diferença na alteração do comprimento do canal, o qual manteve-se relativamente estável durante os últimos 71 anos.

Figura 9 - Complexo Surrão-Praia Grande, frente a cidade de Boa Vista. Processo de soldamento a montante e acreção lateral, anexando-se a planície de inundação. A) 1943; B) GeoEye 2011.



Fonte: Mepa/UFRR.

Figura 10 - Estabilização de barra arenosa (soldamento a montante da ilha). Praia Grande, frente a cidade de Boa Vista.



Fonte: Elaboração própria.

Esta dinâmica de processos insulares aluviais dão a região do rio Branco uma variada morfologia da planície fluvial, por exemplo, os sistemas lacustres. Foram identificados 842 lagos ao longo da planície fluvial do rio Branco, os quais correspondem as classes de lagos menores; acreção lateral; espiras de meandro; meandro abandonado; canal abandonado; e lagos em ilhas (insulares) devido à acreção lateral (Tabela 2). Abaixo descreve-se as classes dos lagos para o rio Branco:

i) Lagos menores: são de pequena extensão, com índice de forma em média de 1.3 (circulares), representando 41,33% do total. São mais significativos no baixo e alto rio Branco;

ii) Lago de canal abandonado: representam canais colmatados pelo desvio do fluxo principal, porém, sem uma definição de sua forma. Esta classe representa 24,58% dos lagos, com maior representatividade no baixo rio Branco;

iii) Lago de acreção lateral: classe que representa processos de anexação de ilhas estabilizadas às margens, com progressiva colmatagem de pequenos canais secundárias, representam 10% do total, com maior representatividade no alto Branco, e um balanço entre o médio e baixo.

iv) Lago de meandro abandonado: indicam canais abandonados, porém, associados ao abandonado de meandros (em forma de ferradura), correspondem 2% do total, com maior representatividade no baixo Branco e médio. Sua ausência no alto Branco evidencia um padrão típico retilíneo neste trecho, semi-controlado.

v) Lago espiras de meandros: indicam uma migração em padrão meandriforme do canal, com sucessivos lagos compostos em forma de ferradura, representam 2% do total, com maior representatividade no baixo Branco, no trecho de contato dos afluentes do baixo Branco.

vi) Os lagos insulares: importantes para identificar o processo de estabilização de ilhas aluvionares, representativas do rio Branco em todo seu trecho, com exceção da falha do Bem Querer (ilhas rochosas – granitos e gnaisses). Os lagos insulares identificados foram: i) Lago insular de acreção lateral: representando 16,38% do total entre os sistemas lacustres, indicando processo de estabilização rápido, com formatos alongados, distribuídos ao longo do canal, porém, com maior representatividade no baixo Branco; ii) Lago insular de bancos acrescidos: representam 3,44% do total, mais significativos no baixo rio Branco, formados por sucessivos aportes de barras arenosas, ao longo da ilha, favorecendo o aumento areal no sentido longitudinal.

Tabela 2 – Classificação dos sistemas lacustres da planície fluvial do rio Branco, para o ano de 2015.

Classe	alto	médio	baixo	total	%
Lagos menores	44	10	294	348	41,33
Lago de acreção lateral	41	19	25	85	10
Lago insular de bancos acrescidos	4	0	25	29	3,44
Lago insular de acreção lateral	14	33	91	138	16,38
Lago espiras de meandro	4	0	13	17	2
Lago de meandro abandonado	1	5	12	18	2
Lago de canal abandonado	3	13	191	207	24,58
Total	111	80	651	842	100

Fonte: Elaboração própria

## 5 CONCLUSÃO

Roraima é um Estado peculiar, do ponto de vista geomorfológico e dos aspectos da dinâmica física/ecológica de suas áreas úmidas, pertencente à Amazônia setentrional. É uma região ainda insuficientemente descrita, em termos de processos hidrogeomorfológicos e biológicos, é necessário um melhor entendimento de como as



florestas e as áreas abertas alagadas nesta região, juntamente com processos geomorfológicos funcionam. Neste aspecto pesquisas voltadas para a questão do meio físico-biótico são chaves para a compressão destes ambientes.

Podemos caracterizar os rios de Roraima sendo na maioria autóctones, com exceção dos cerca de 12.300 km<sup>2</sup> da bacia do rio Branco que nascem na Guiana. Estas áreas úmidas formam um complexo sistema lacustre nas áreas abertas, como o lavrado no nordeste de Roraima, com planícies fluviais bem desenvolvidas e as campinaranas ao sul do Estado, com rios meandriformes, extensos depósitos aluviais e terraços, cujo padrão de drenagem muitas vezes é de difícil identificação, amorfos.

Estes estudos possibilitam condições de estabelecer critérios de avaliação para o planejamento e gerenciamento do uso de ambientes de áreas úmidas, por exemplo, lagos e áreas insulares, as quais são dinâmicas, e vulneráveis à ação humana. São ambientes os quais necessitam de uma atenção do poder público, com intuito de caracterizar e gerenciar as ações da população, a qual faz uso destes ambientes.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao pesquisador Celso Morato de Carvalho do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo apoio na logística e infraestrutura; téc. Jean Flávio/CPRM e ao professor Carlos Sander/Dep.Geografia/UFRR pelo apoio em campo.

## **REFERÊNCIAS**

AB'SABER, A.N. A formação Boa Vista: Significado geomorfológico e geoecológico no contexto do relevo de Roraima. In: BARBOSA, R., FERREIRA, E.J.; CASTELLÓN, E.G. (org.) **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: Editora do Inpa. 1997. 613p.

CARVALHO, T.M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. In: SILVA, E.N.; SCUDELLE, V. (org.) **Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus: Editora UEA Ltda. 2009a. p.3-17.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do bioma cerrado: um estudo de caso para Goiás. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1(1):62-72. 2008.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da Bacia do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 5:85-93. 2004.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T. M. Cobertura da terra e parâmetros da paisagem no município de Caracará - Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, (7)1:46-59. 2013.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Paisagens e Ecossistemas. In: Silveira, E.D.; Serguei, A.F.C. (Org.). **Socioambientalismo de fronteiras: relações homem-ambiente na Amazônia**. Ed. Juruá, Curitiba. p.43-68, 2015.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies. **Quaternary Science Journal**, 61:146-155. 2012a.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Sistemas de Informações Geográficas Aplicadas à descrição de habitats. **Acta Scientiarum**, 34(1):79-90. 2012b.

CARVALHO, T. M.; ZUCHI, M. R. Morfometria e caracterização do meio físico de ambientes lacustres no vão do Paranã-Goiás, Brasil. Uma primeira aproximação. **Terra**, 25(38):111-140. 2009.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Sci. Biol. Sci**, 30(4):379-390. 2008.

JUNK, W.J. General aspects of floodplain ecology with special reference to amazonian floodplains. In: JUNK, W. (org.) **The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System**. Nova Iorque: Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 1997. p.3-17.

SANDER, C.; CARVALHO, T. M; GASPARETTO, N. Breve Síntese da Dinâmica Fluvial do Rio Branco, nas adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima. **Rev. Geográfica Acadêmica**, (7)1:60- 69. 2013.

VANZOLINI, P. E.; CARVALHO, C. M. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brasil Sauria:Teiidae . **Papéis Avulsos de Zoologia** 37:73-226. 1991.

VELOSO, H.P., GÓES-FILHO, L., Leite, P.F., BARROS-SILVA, S., FERREIRA, H.C., LOUREIRO, R.L., TEREZO, E.F.M. Capítulo IV - Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos, estudo fitogeográfico. Folha

NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: **Projeto RadamBrasil. Rio de Janeiro, RJ. 1975. p.305-404.**

WITTMANN, F., JUNK, W. J., PIEDADE, M. T. F. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest Ecology and Management**, v.196, p.199 – 212. 2004.

WITTMANN, F., SCHÖNGART, J., MONTERO, J.C., MOTZER, T., JUNK, W.J., PIEDADE, M.T.F., QUEIROZ, H.L., WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. **Journal of Biogeography** 33, 1334–1347, 2006.

### APÊNDICE 3

## SISTEMAS LACUSTRES NÃO FLUVIAIS DO LAVRADO, REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DE RORAIMA

### RESUMO

Este estudo objetiva descrever os aspectos morfométricos e a dinâmica sazonal dos sistemas lacustres situado no lavrado, ambiente campestre no nordeste de Roraima. Estes sistemas lacustres desenvolvem-se na planície de aplainamento da Formação Boa Vista, compondo lagos desconexos de planícies fluviais, e interconectados durante períodos chuvosos. A metodologia para identificação dos sistemas lacustres foi realizada por classificação supervisionada, com base em imagens Landsat 8 (OLI), 2013, período chuvoso; e estiagem referente a 2014. Foi analisado a morfometria, quantidade e área ocupada pelos lagos perenes e temporários. A morfologia dos lagos foi identificada através do índice de forma, o qual se baseia em atribuir uma correlação do perímetro do lago com a geometria de um círculo de igual área. Imagens altimétricas da SRTM foram utilizadas para caracterização regional do ambiente. Os lagos do lavrado desenvolvem-se em cotas entre 50 a 200 metros, dominada por feições morfológicas agradacionais. No período chuvoso ocupam área de 1,92% do lavrado e na estiagem com 0,31% e foram classificados em lagos de nascentes; isolados e conectados. Em relação à morfologia, os que predominam durante os períodos chuvoso e estiagem são os circulares e semicirculares. No período de estiagem possuem tamanho médio de 23.200 m<sup>2</sup>, perímetro médio de 811,03 m, e índice de forma médio de 1,49. No período chuvoso possuem tamanho médio de 44.947 m<sup>2</sup>, com perímetro médio de 1.106 m, e índice de forma médio de 1,41. Nesse período formam um sistema interconectado entre si, aos igarapés e rios (conectividade flúvio-lacustre), cuja área lacustre total abrange 832,62 km<sup>2</sup>, e durante a estiagem com 129,25 km<sup>2</sup>, totalizando cerca de 17.000 lagos entre os perenes e sazonais. Este ambiente forma um sistema hidrogeológico interconectado por campos e buritizais lineares com 11.340 km<sup>2</sup> de áreas úmidas no lavrado.

**Palavras-chave:** Lavrado, Roraima, Sistemas lacustre, Morfometria.

## ABSTRACT

The aim of this study is describe the morphometrics and seasonal dynamics of the lacustrine systems in the lavrado, fields system in the northeast of Roraima. These lacustrine systems are formed in the planation surface of Formação Boa Vista, they are unconnected lakes of fluvial plains, and interconnected during rainy season. The methodology for identification of lake systems was done by supervised classification based on Landsat 8 (OLI), 2013 rainy season; and images of dry season to 2014. We analyzed the morphology, quantity and area occupied by permanent and temporary lakes. The morphology of the lake were identified by an index, which is based on assigning a lake perimeter correlation with the geometry of a circle of equal area. Altimetric SRTM images were used to characterize the regional environment. The lakes of lavrado develop between 50 to 200 meters, dominated by agradational morphological features. In the rainy season occupy area of 1.92% of the lavrado, and in dry season with 0.31%, and were classified as headwater lakes; isolated lakes; and lakes connected. Regarding the morphology, which predominate during the wet and dry periods are the circular and semi-circular. In dry season the average sizes is 23,200 m<sup>2</sup>, mean circumference of 811.03 m, and mean form index of 1,49. During the wet season the size average is 44,947 m<sup>2</sup>, mean circumference of 1,106 m, and mean form index of 1.41. In this season they form an interconnected to each other, to the streams and rivers (fluvial-lacustrine connectivity), covering an area of 797,73 km<sup>2</sup>, and during dry season with 129.25 km<sup>2</sup>, totaling about 17,000 lakes between perennial and seasonal. This environment forms a hydrogeoecological interconnected system of open fields and linear buritizais with 11,340 km<sup>2</sup> of wet landS.

**Keywords:** Lavrado, Roraima, lacustrine system, morphometry.

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é formada por um mosaico de tipologias vegetacionais, que do ponto de vista fisionômico, pode ser caracterizada por sistemas de áreas abertas e fechadas, respectivamente, unidades composta por vegetação predominantemente arbustiva e herbácea; e de porte arbóreo (florestada - ombrófila). Algumas áreas são similares a outros domínios, por exemplo, ao Cerrado (Brasil Central), Chaco (norte e

nordeste boliviano), Llanos Orientales colombiano (região de Orinoquia, nordeste colombiano), Llanos do Orinoco e Gran Sabana (Venezuela) (VANZOLINE, 1992; CARVALHO et al., 2016).

Do ponto de vista biogeográfico, estes aspectos morfológico vegetacional de áreas abertas e fechadas, são importantes quando consideramos a dinâmica de “retração-expansão” da vegetação, com desenvolvimento de áreas abertas (arbustivas, herbáceas) durante períodos glaciais, clima seco e frio, e expansão de florestas durante períodos interglaciais, quentes e úmidos na América do Sul durante o Pleistoceno (AB’SABER, 1977; VANZOLINI, 1981; PESSENDA et al., 2009; CARVALHO; CARVALHO, 2012; CARVALHO; CARVALHO 2015; CARVALHO, et al., 2016).

Alguns exemplos destas peculiares formações abertas, enclavadas em meio às formações florestais na amazônia brasileira, são as do rio Trombetas (EGLER, 1960); Negro (DUCKE;BLAKE, 1953); Tapajós (VELOSO et al., 1976), Madeira (MURÇA-PIRES, 1974); no Amapá (MURÇA-PIRES, 1974); além de outras áreas pouco documentadas. Áreas abertas como essas, onde predominam formações arenosas, estão associadas aos depósitos de paleodrenagem (aluviões), e depósitos *in situ* do manto de intemperismo de rochas do escudo cristalino, como o escudo das Guianas, que quando trabalhados pelo vento dão origem a feições eólicas, dunas do tipo parabólicas ativas e inativas (paleodunas).

Estes ambientes merecem uma melhor discussão desde o ponto de vista físico ao biológico, cuja relevância está pautada na observação de que são áreas chaves para estudos paleoambientais e são feições discordantes com o clima atual (tropical úmido). Exemplos destas áreas estão nos Llanos do Orinoco (Venezuela), Chaco (Bolívia), Lavrado e Campinaranas (Amazônia), citadas também por Iriondo e Latrubesse (1994), Carneiro-Filho, Tatumi e Yee (2003), Carvalho e Carvalho (2012;2015).

A base para compreender estes ambientes está no foco da hidrogeomorfologia, que identifica e caracteriza os aspectos e processos relacionados a dinâmica fluvial com as características morfológicas do relevo (SCHEIDEGGER,1973; MORAIS;AQUINO;LATRUBESSE,2008; GOERL; KOBİYAMA;SANTOS,2012). Este estudo é importante para análises do comportamento de ambientes inundáveis, lacustrinos e fluviais, conforme descrito para Roraima por Carvalho e Carvalho (2015). Dentre as áreas abertas mencionadas acima, uma das maiores localiza-se na região do

nordeste do Estado de Roraima, sudeste da Venezuela e oeste da Guiana, com destaque para o compartimento deste sistema denominado de Lavrado, descrito mais adiante.

Um das peculiaridades do lavrado são sistemas lacustres bem desenvolvidos, os quais não possuem conexão direta com as planícies fluviais, ou seja, não são alimentados pelo rios, mas pelas chuvas e pela oscilação do lençol freático. Provavelmente são sistemas lacustres com função inversa a maioria dos sistemas lacustres em ambientes tropicais, estes são fonte de fluxo de água e sedimentos para as planícies fluviais, os quais formam uma rede de pequenos canais (igarapés), e que devido a declividade predominante os direcionam para as planícies fluviais. Este processo é o inverso do conceito de pulso de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989). Wantzen et al. (2008) estende o conceito de pulso de inundação para sistemas lacustres que possuem sua vitalidade durante as cheias dos grandes sistemas de planícies fluviais.

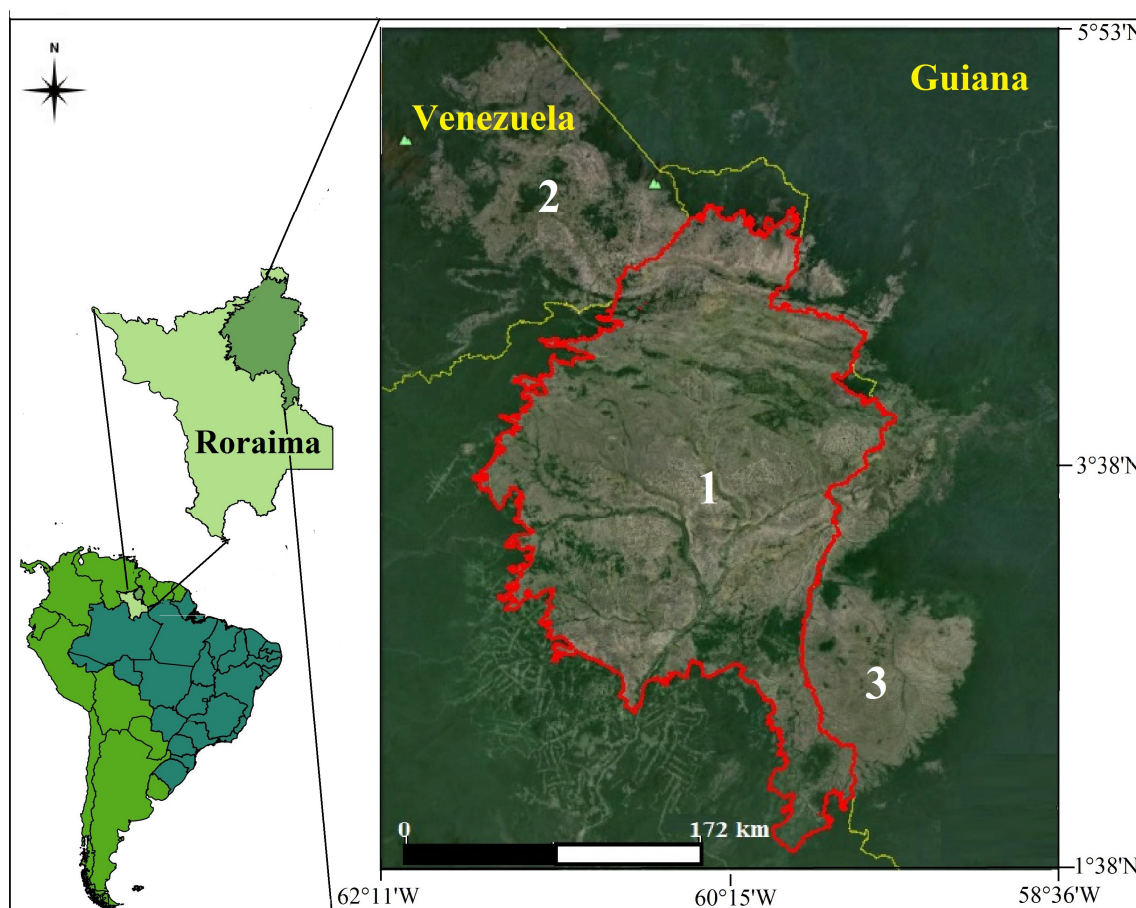
Este estudo faz uma primeira análise com intuito de caracterizar os sistemas lacustres do lavrado, identificando suas morfologias predominantes, aspectos morfológicos do relevo e o grau de conectividade deste ambiente de áreas úmidas de Roraima. Algumas perguntas são importantes e que devem ser respondidas: Como estão distribuídos os sistemas lacustres no lavrado? Estes seguem algum padrão estrutural? Qual o grau de conectividade dos sistemas lacustres com os fluviais, conectam-se em rios de primeira ordem e segunda? Qual o padrão da forma dos lagos (aproximam-se de formas circulares, retangulares, quadrados)? Estes são perenes ou sazonais, ou existem áreas com ambos, e qual a porcentagem? Os lagos são todos interconectados, ou apenas no período chuvoso? São perguntas pertinentes ao entendimento não somente com vistas à hidrogeomorfologia, mas também para uma visão de caracterização da paisagem, auxiliar em estudos voltados à biogeomorfologia e ao gerenciamento/gestão territorial (MORAIS; CARVALHO, 2013, 2015; CARVALHO; CARVALHO 2015; CARVALHO et al., 2016).

## **2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A região de estudo está inserida dentro do domínio campestre do lavrado, no centro norte da Amazônia, região que abriga uma das maiores áreas abertas amazônicas, situada em parte no nordeste de Roraima, sudeste da Venezuela e centro-oeste da Guiana, a qual é compartimentada em diferentes patamares de aplainamento, com

domínios paisagísticos diferenciados, sendo eles os campos do lavrado (Roraima); campos da Gran Sabana (sudeste da Venezuela) e os campos do Rupununi (centro-oeste da Guiana), abrangendo uma área em torno de 70.000 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Figura 1 - (1) - Limite do Lavrado em Roraima; (2) - Gran Sabana; (3) - Rupununi, Amazônia setentrional.



Fonte: Elaboração própria.

O lavrado abrange 43.281 km<sup>2</sup>, uma superfície de aplainamento modelada pelas nascentes do alto rio Branco, as quais drenam para o sul do Estado, com cotas abaixo de 250 metros, formam extensas planícies fluviais e em determinadas áreas mal drenadas, originam-se os sistemas lacustres do lavrado, região NE de Roraima (MORAIS;CARVALHO,2015; CARVALHO et a., 2016). A literatura cita diversos nomes para estas paisagens abertas roraimenses, por exemplo, campos do rio Branco, savana, cerrado, bioma ou ecorregião (BARBOSA;MIRANDA, 2005; GUERRA, 1955; TAKEUSHI, 1960). Campo é termo genérico utilizado para muitas áreas abertas brasileiras. O domínio do ecossistema do cerrado está a uma distância cerca de 2.000 km de Roraima.



O termo savana, utilizado para designar várias áreas abertas no mundo todo, juntamente com os termos bioma e ecorregião, ao se juntarem formam as condições para um enfoque muito genérico sobre fisionomias de vegetação, sem situá-las adequadamente num contexto regional, o que gera confusão e erros ao descrever os aspectos bióticos, geográficos e ecológicos de ambientes os quais possuem relações específicas com os elementos funcionais da paisagem e seu grau de estruturação (interrelação) (EITEN, 1963; MORAIS; CARVALHO, 2015; CARVALHO; CARVALHO 2012; 2015).

Sobre os compartimentos agradacionais e denudacionais de Roraima, a região do lavrado é predominada por uma extensa superfície de aplainamento mais rebaixada com relação aos ambientes da Gran Sabana e Rupununi. Na Gran Sabana, formada por campos entremeio a floresta Amazônica do sudeste da Venezuela, situa-se em um compartimento com cotas em torno de 1000 metros. A região do Rupununi enquadra-se em um compartimento intermediário entre a Gran Sabana e o lavrado, cujas cotas situam-se entre 350 a 200 metros, ambiente modelado pelos rios Rupununi, Esequibo e Tacutu no oeste da Guiana inglesa. O lavrado, situado num compartimento inferior, desenvolve-se principalmente entre 50-200 metros, representando 75% do domínio do lavrado, o qual se estende em parte até o contato da Gran Sabana e ao Rupununi, conforme descrito anteriormente. Nesta região predominam colinas dissecadas, localmente conhecidas como tesos, formas originadas pela dissecação da drenagem em torno dos sistemas lacustres interconectados por igarapés inter-tesos, cuja declividade varia entre 0°- 5° em relevo plano com baixa energia, favorecendo o aporte de material sedimentar, basicamente arenoso, proveniente das áreas adjacentes elevadas do escudo cristalino Guiano.

A baixa energia do relevo na região central do lavrado favorece a formação de um interessante sistema de lagos de formato predominante circular, não fluviais. A formação destes lagos está associada às águas pluviais e oscilação do lençol freático, são em sua maioria cabeceiras de canais de primeira ordem que dão origem aos buritizais (*Mauritia flexuosa*). É um sistema hidrogeomorfológico similar aos morichales dos Llanos do Orinoco. São lagos predominantemente sazonais, rasos (~1 a 3 metros de profundidade). Nesta região, a precipitação média é de 1643 mm/ano. O período chuvoso (Abril-Setembro) com média de 1384 mm/ano, e média mensal de 280 mm; o período seco (Outubro-Março) com média de 270 mm/ano, e média mensal de 45.

Menezes, Costa e Costa (2007) caracterizam o sistema lacustre próximo a região de Boa Vista, margem direita do rio Branco, como lagos sazonais, colonizados por macrófitas, cerca de 62% são intermitentes, com profundidades variando 0,8 a 2,5 metros, alimentados pela subida do lençol freático (estação chuvosa), com predominância de sedimentos arenosos (formação Boa Vista), os quais não estão associados à dinâmica da planície fluvial do rio Branco. Este peculiar sistema lacustre apresenta características semelhantes aos lagos da região do Vão do Paranã, Estado de Goiás, vegetação de cerrado, são predominantemente arenosos, colonizados por macrófitas, tamanho variando entre 100-300 metros, profundidade média de 2,2 m e sazonais (CARVALHO;ZUCCHI, 2009).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia está baseada em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizadas com apoio do Mepa (Laboratório de Métricas da Paisagem), dep. de Geografia/UFRR, com material disponível em seu banco de dados.

Os sistemas lacustres foram identificados pelo método de classificação supervisionada, com base em imagem do Landsat 8, do ano de 2014 para o período chuvoso; e imagem para o período de estiagem do ano de 2015. Após a classificação, a classe de massa d'água, arquivo raster, foi transformada para vetor. Este procedimento foi necessário para que fosse possível trabalhar com os dados em forma vetorial, possibilitando a edição dos dados e controle em ambiente SIG, por exemplo, a separação de igarapés, rios e demais feições que não pertencesse a classe de sistemas lacustres. Esta etapa de correção foi realizada no programa Quantun Gis 2.2, através de ferramentas de edição vetorial.

Também foram contabilizadas a quantidade e a área ocupada pelos lagos perenes e temporários. Com a finalidade de comparação, os vetores identificados para os lagos de estiagem e chuvoso foram sobrepostos em camadas no limite do lavrado, para análise das morfologias dos lagos, agrupamentos, e a relação destes com a rede drenagem fluvial. O padrão de agrupamento foi baseado na análise espacial pelo método de vizinho mais próximo, cujo objetivo é verificar a tendência ou não ao agrupamento. Este método analisa a distribuição espacial dos lagos por meio da distancia média estimada e a distancia média esperada em função da área, cujo índice

quando mais próximo de 1 possui tendência ao agrupamento, não estando os elementos dispersos ao acaso.

A morfologia dos lagos se refere ao índice de forma, o qual se baseia em atribuir uma correlação entre parâmetros morfométricos como área, perímetro, largura, longitude. Estas variáveis são úteis para identificar a forma aproximada do lago, correlacionando com uma figura geométrica como padrão circular, subcircular, sub-retangular, dendrítico. Para determinar estes padrões morfométricos dos lagos, foi utilizado índice de desenvolvimento de circularidade, alguns autores denominam de índice de desenvolvimento de costa (WETZEL, 1975; HENGL; EVANS, 2009; CARVALHO; ZUCHI, 2009; SANTOS; CARVALHO; CARVALHO, 2013). Este índice é calculado da seguinte forma:  $DC = P/2.r.\pi$  ;  $r = \sqrt{A/\pi}$  (  $P$  = perímetro do lago;  $A$  = área do lago;  $r$  = raio de um círculo de mesma área do lago). Os valores que correspondem a forma geométricas são:  $1 < DC \leq 1.25$  (circular);  $1,25 < DC < 1.5$  (subcircular);  $1,5 \leq DC \leq 3$  (sub-retangular);  $DC > 3$  (dendrítico). Atribui-se uma forma circular com índice igual a 1 e quanto maior o índice mais irregular é a forma. Esta etapa foi elaborada usando o algoritmo VLATE 2, extensão para o ArcGis 10. Segundo Timms (1992) estes padrões podem estar relacionados a lagos de dolinas, cone vulcânico, panela de deflação (circulares); lagos de circo, dolinas de deflação, kettle (subcirculares); lagos tectônicos, vales glaciais (sub-retangulares); lagos em vale glacial, litorâneos (dendrítico). Estes padrões devem ser analisados dentro de um contexto geográfico regional da área de estudo.

O uso do modelo digital de elevação (MDE) foi útil para descrever as características morfológicas do relevo, parâmetros morfométricos (geomorfométricos) são importantes para analisar e inferir sobre a dinâmica hidrogemorfológica e respectivos ambientes denudacionais (erosivos) e agradacionais (deposicionais), através de produtos como declividade (potencial energético/gradiente do relevo), perfis topográficos (variações topográficas/superfícies de aplainamento), sombreado (controle estrutural/dissecação), perfis topográficos longitudinais dos rios (equilíbrio do perfil/knickpoints), além de outros descritos por Carvalho e Latrubesse (2004); Carvalho e Bayer (2008).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na região amazônica ocorrem inúmeros lagos com tamanho e formas variadas, que são na grande maioria de origem ligadas a processos fluviais, como os típicos de áreas inundáveis controladas por planícies fluviais, com conexões temporárias ou permanentes, formados pela dinâmica do sistema fluvial, a qual é controlada pelo gradiente, sedimentos, vazão, vegetação e clima, possibilitando morfologias lacustres de origem variada como paleocanais do tipo meandros abandonados, acreção de ilhas à planície aluvionar, acreção de barras arenosas às ilhas, lagos de escoamento impedido, entre outros, sendo estes os predominantes na Amazônia, ou seja, de origem fluvial (CARVALHO; CARVALHO, 2012; CARVALHO; ZUCHI 2009).

A ação antrópica tem sido nas últimas décadas um importante agente modificador dos ambientes lacustres. A atividade humana contribui em acelerar processos morfológicos fluviais, devido ao uso desordenado da terra, afetando a taxa de aporte e erosão natural. Isso tem sido demonstrado em estudos na planície fluvial do rio Araguaia, onde o incremento acelerado da taxa de sedimentos tem provocado alterações na dinâmica hidrosedimentológica, afetando diretamente o sistema lacustre da planície fluvial (CARVALHO, 2009; BAYER; CARVALHO, 2008; OLIVEIRA).

Outro aspecto importante é a expansão urbana, por exemplo, em ambientes de sistemas lacustres não fluviais governados pelo rebaixamento do manto de intemperismo (etchplanação), como no entorno da cidade de Boa Vista, capital de Roraima. Boa Vista em 1943, possuía uma área urbana de 32,86 km<sup>2</sup>, em 1975 passou para 62,88 km<sup>2</sup> e em 2016 com 137,80 km<sup>2</sup>. Houve um crescimento de 104,94 km<sup>2</sup>, a uma taxa de 1,43 km<sup>2</sup>/ano desde 1943. Esta expansão urbana ao longo do sistema lacustre do lavrado acarretou no aterro de 23 lagos, e 17 estão ativos inseridos na área urbana, os quais estão localizados no setor sul e oeste da cidade.

No lavrado os sistemas lacustres predominantes estão localizados na extensa planície de aplainamento da Formação Boa Vista, composta por depósitos sedimentares quaternários, região de baixo gradiente, dissecação fraca a muito fraca, condicionando ambientes mal drenados. Estes ambientes, devido ao baixo potencial energético do relevo, estocam água durante o período chuvoso, gerando lagos temporários. Em outros casos, devido o rebaixamento da superfície por intemperismo químico, o qual é potencializado pelo contato com o lençol freático raso, proporciona a formação de lagos permanentes circulares, dos quais muitos estão associados as nascentes de canais de

primeira ordem. Estas nascentes frequentemente são compostas por uma a vegetação com buritizais (*Mauritia flexuosa*). Este ambiente propicia a esta região um peculiar sistema hidrogeomorfológico, o qual configura-se em lagos conectados durante os períodos de cheia e desconexos durante o período de estiagem, por canais de primeira e segunda ordem.

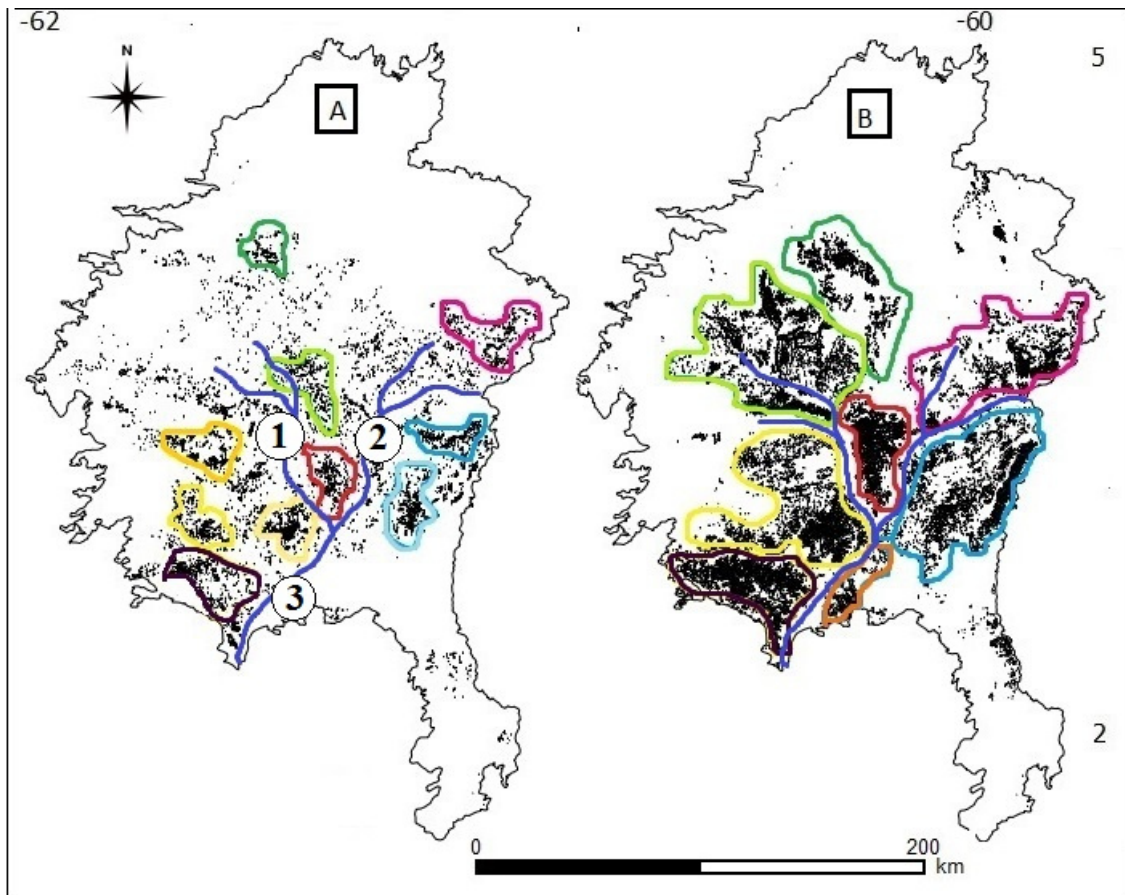
Os lagos do lavrado se desenvolvem entre cotas de 40 a 200 metros e declividade entre 0°-5°, dominada por feições agradacionais – região estável caracterizada por uma superfície aplainada pela rede de drenagem dos rios Uraricoera, Tacutu e Branco, com baixa energia. Caracteriza-se por ser uma região de aporte de material sedimentar, basicamente arenosos, provenientes das áreas adjacentes mais elevadas (Complexo do Escudo das Guianas) – em meio a uma vegetação campestre entrecortada por veredas de buritizais, matas de galeria, igarapés e ilhas de mata. Suas bacias lacustres são rasas, geralmente < 2 metros de profundidade, de pequeno porte, geralmente com perímetro entre 100-300m, e com o nível de água controlado sazonalmente pelos períodos chuvosos e estiagem. Durante o período chuvoso ocorre o aumento na distribuição de lagos temporários, e no período de estiagem vários desses lagos secam, restando os perenes.

A figura 2 ilustra os núcleos formados para o período de estiagem, onde ocorre a diminuição da concentração dos núcleos lacustres em determinadas áreas, formando fragmentos isolados, e para o chuvoso, período de maior conectividade lacustre, aumentando o tamanho dos núcleos na paisagem. Estes núcleos lacustres se distribuem em regiões situadas na porção central do lavrado abrangendo todo o município de Boa Vista, parte da região Leste de Alto Alegre e Amajari, todo o Sul de Pacaraima e Normandia e o Norte de Bonfim, sendo que em Uiramutã só se registra a presença de poucos lagos temporários na porção Sul do município.

Observa-se na figura 2, que no período seco ocorre a formação de quatro pequenos núcleos localizados nas regiões próximas a margem direita do rio Branco: o primeiro núcleo com hachura roxa da figura (A) possui uma área de 466,81 km<sup>2</sup>, porém, no período chuvoso este aumenta de área, com 1.401,21 km<sup>2</sup> (hachura roxa da figura B); os três núcleos com hachuras em tons de amarelo na figura (A) possuem respectivamente áreas 315,22 km<sup>2</sup>, 228,67 km<sup>2</sup> e 426,65 km<sup>2</sup>, no período chuvoso estes se conectam e formam um único núcleo com área de 2.702,42 km<sup>2</sup> (hachura amarela da figura B).

O núcleo em hachura laranja na figura **(B)** localizado na margem esquerda do rio Branco desaparece no período de estiagem, o qual abrange uma área de 367,82 km<sup>2</sup> durante o período chuvoso. No trecho interplanície, próximo a confluência dos rios Uraricoera e Tacutu, ocorre um dos mais densos sistemas lacustres, o qual durante o período seco abrange 267,81 km<sup>2</sup> (hachura vermelha na figura **A**), e tem seu tamanho triplicado no período chuvoso, com 786,55 km<sup>2</sup> (figura **B**). A margem esquerda do rio Uraricoera, os dois núcleos que se formam, representados por hachuras em tons esverdeados possuem áreas aproximadas de 582,812 km<sup>2</sup> (verde claro na figura **A**) e 339,17 km<sup>2</sup> (verde escuro na figura **A**), estes no período chuvoso expandem para 3.635,26 km<sup>2</sup> (verde claro na figura **B**) e 1.531,92 km<sup>2</sup> (verde escuro na figura **B**) respectivamente. O pequeno núcleo da margem direita do rio Tacutu com área de 780,55 km<sup>2</sup> (hachura em magenta na figura **A**) aumenta para 2.837,98 km<sup>2</sup> (hachura magenta na figura **B**). Os dois únicos núcleos perenes da margem esquerda do rio Branco, com tons de azul, possuem áreas de 291,85 km<sup>2</sup> e 700,35 km<sup>2</sup> na estiagem, durante o período chuvoso se conectam, formando um sistema lacustre interconectado de 3.114,24 km<sup>2</sup>.

Figura 2 – Dinâmica sazonal dos sistemas lacustres na paisagem do lavrado nos períodos de estiagem (A) e chuvoso (B), Nordeste de Roraima.

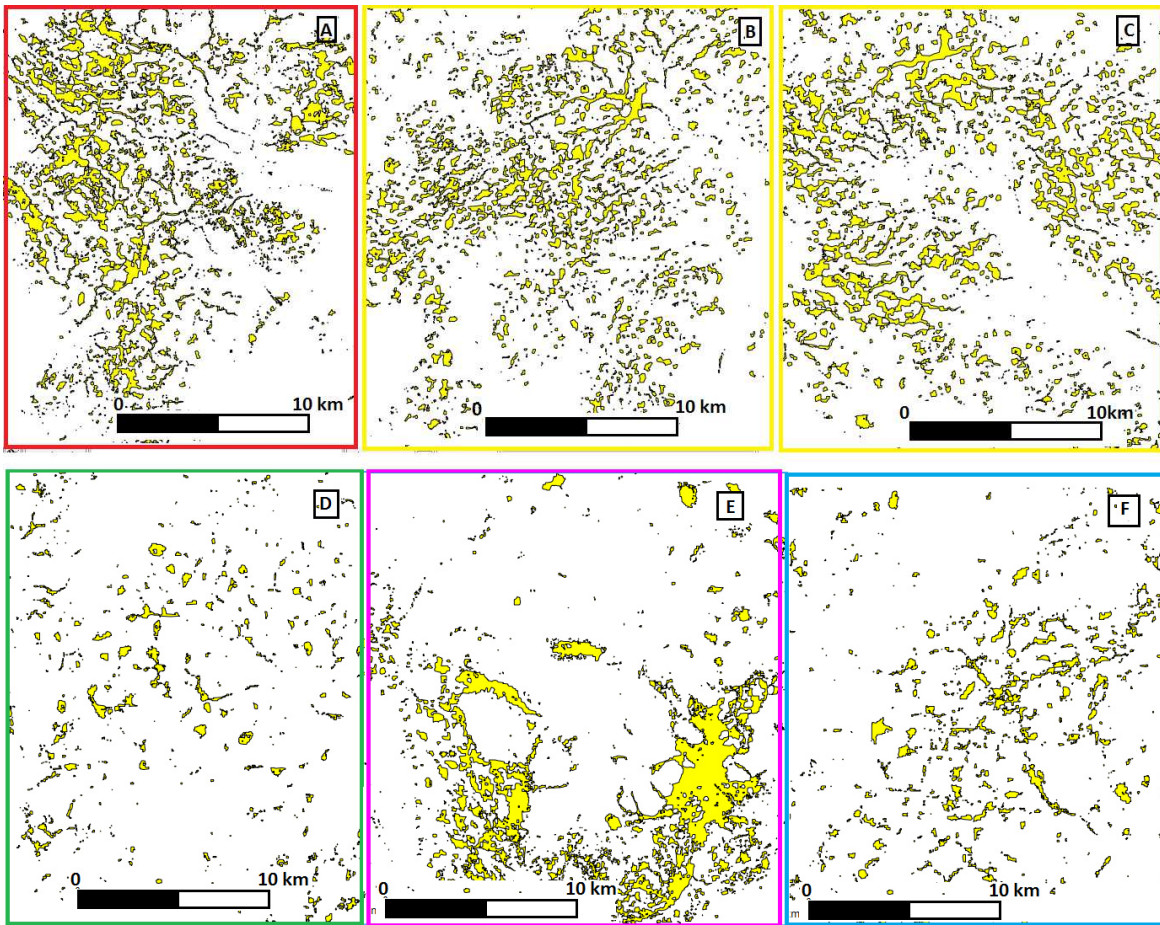


Fonte: Elaboração própria.

Analisando o grau de conectividade dos lagos, observou-se que durante o período chuvoso essa característica começa a ficar mais evidente a medida que os lagos temporários são reativados, devido a elevação dos níveis de chuva e do lençol freático raso. Com base na análise espacial dos lagos, segundo o método do vizinho mais próximo, a distância média entre os lagos estimada foi de 408 metros, cuja tendência esperada seria de 846 metros, com índice de agrupamento de 0,48. A figura 3 exemplifica esta conectividade referente aos agrupamentos da figura 2B.

Durante o período de estiagem essas conexões se dissipam, resultando em uma paisagem com lagos perenes isolados ou com baixo grau de conexão, totalizando 5.000 lagos, devido a perda de lagos temporários (12.000 lagos). Neste período os lagos possuem maior distância entre si, cuja média é de 544 metros, sendo a distância esperada de 1495 metros, com índice de 0,36 baseado na análise do vizinho mais próximo, apresentando menor tendência ao agrupamento (Figura 4).

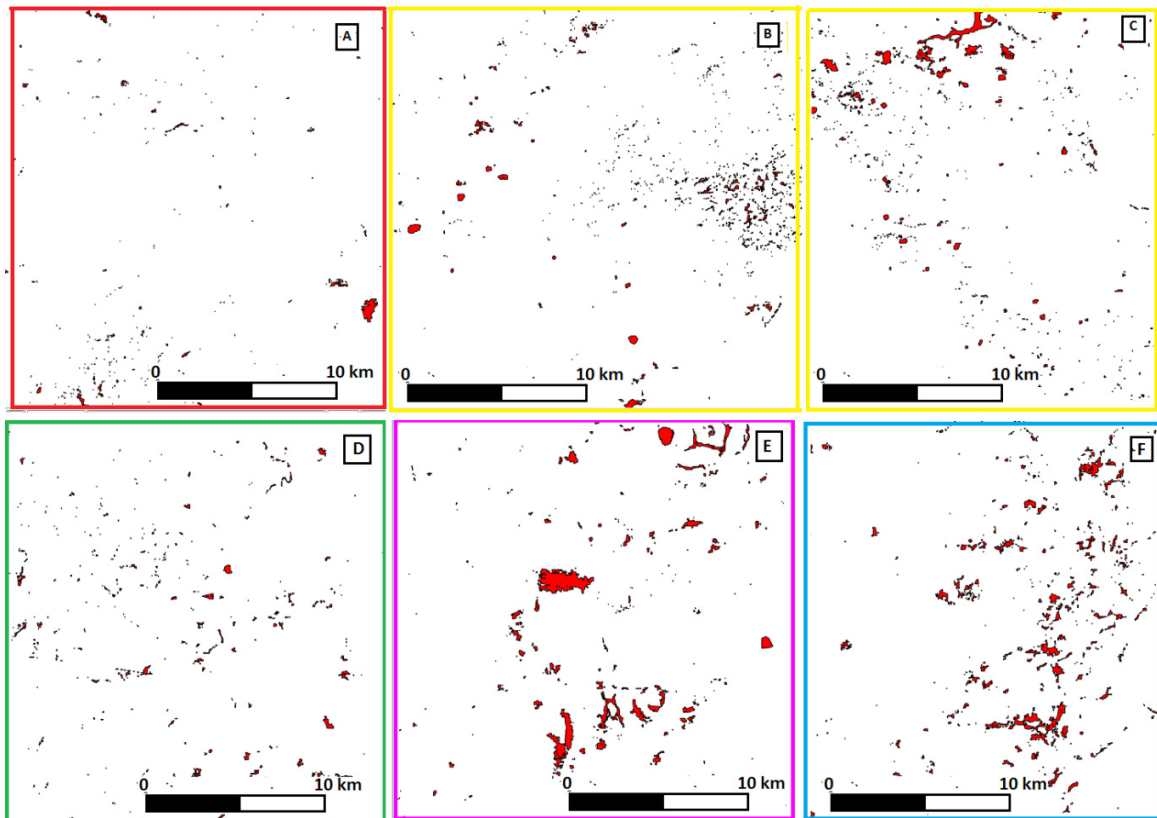
Figura 3 - Exemplos das regiões de lagos interconectados, cuja distancia média é de 408 m no período chuvoso, agrupamentos referentes a figura 2B, lavrado, Nordeste de Roraima.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: (A) Região entre os rios Tacutu e Uraricoera; (B) e (C) Regiões do rio Branco; (D) Região da margem esquerda do rio Uraricoera; (E) Região da margem direita do rio Tacutu; (F) Região da margem esquerda do rio Tacutu.



Figura 4 - Exemplos dos lagos perenes isolados ou com baixo grau de conexão no período de estiagem, cuja distancia media é de 544 metros. Agrupamentos referentes a figura 2A.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: (A) Região entre os rios Tacutu e Uraricoera; (B) e (C) Regiões do rio Branco; (D) Região da margem esquerda do rio Uraricoera; (E) Região da margem direita do rio Tacutu; (F) Região da margem esquerda do rio Tacutu.

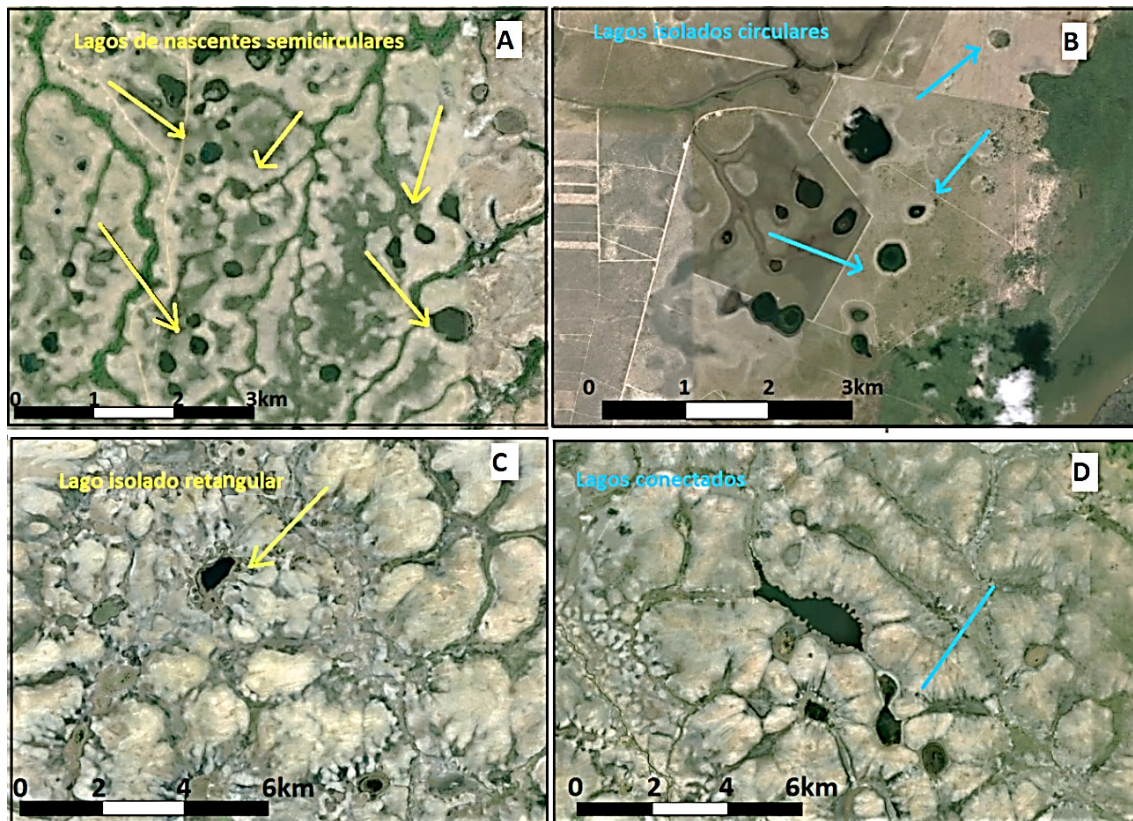
Com relação as variações na quantidade e área do lavrado banhada pelos lagos, no período chuvoso abrangem 1,92% do lavrado, enquanto que no período de estiagem abrangem 0,31%. Porém, é na quantidade de lagos que secam gradativamente durante a transição do período chuvoso para o período de estiagem que nota-se nitidamente a sazonalidade lacustre, cerca de 12.000 lagos temporários desaparecem na estiagem.

Com relação aos tipos de lagos e sua ligação com os demais, e conexão com os igarapés, analisados a partir de imagens de satélite e fotografias aéreas, verificou-se que existem morfologias distintas, as quais são controladas pela precipitação, gradiente do relevo e revestimento basal (solo; rochas). São lagos formados em área inter-tesos, ou seja, nas depressões de suaves elevações (tesos) do lavrado.

De acordo com sua dinâmica, podemos classificar estes lagos como lagos de nascentes; lagos isolados e lagos conectados (Figura 5).

2. Os lagos de nascentes se caracterizam por serem as cabeceiras de veredas, normalmente são semicirculares, onde inicia-se um pequeno igarapé, dando origem a um canal de primeira ordem, com buritis jovens, e esparsos, pertencentes a um sistema de drenagem do tipo dendrítica;
3. Os lagos do tipo isolados se configuram por não apresentarem conexão direta com demais lagos circunvizinhos, mesmo no período chuvoso, ou quando apresenta conexão na cheia, é através de pequeno fluxos temporários do escoamento superficial. São lagos geralmente circulares, de pequena extensão, não pertencentes a um sistema de vereda (igarapés), e raramente ocorrem dentro das ilhas de mata do lavrado, e quando não-circulares, com tendência morfológica retangular, estão associados ao controle estrutural (falhas), inseridos em área com drenagem retangular e sub-retangular, como na região de Bonfim, com relevo com dissecação média;
4. Os lagos conectados são formados por uma interconexão de uma rede de igarapés, os quais se articulam diretamente entre si. Durante o período chuvoso, a predominância são os lagos conectados, formando um sistema lacustre único. Porém, no período de estiagem, estes geralmente estão associados a dois lagos que permanecem conectados, diretamente ou por um pequeno braço (depressão).

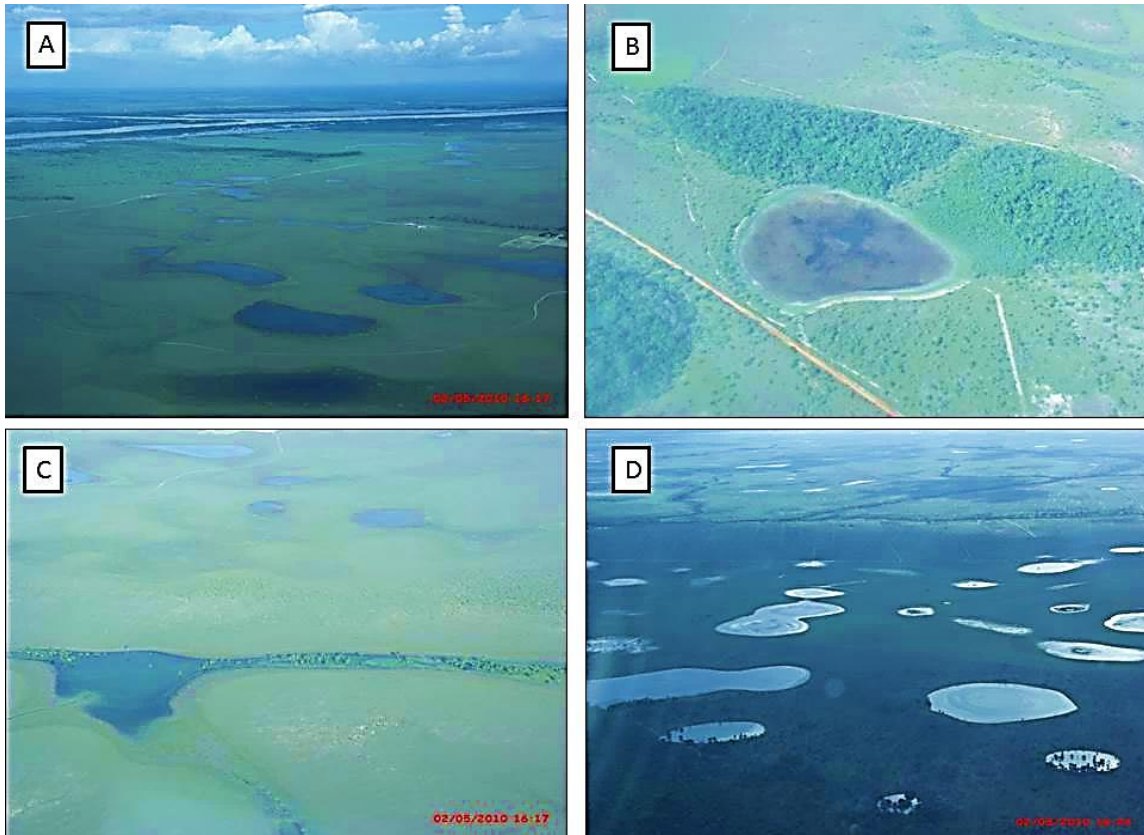
Figura 5 - (A) Lagos de nascentes semicirculares; (B) Lagos isolados circulares; (C) Lago isolado retangular; e, (D) Lagos conectados.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação à morfologia dos lagos, os que mais se destacam na paisagem e predominam em maiores quantidades durante os períodos chuvosos e de estiagem, são os circulares e semicirculares. Estes possuem algumas características específicas, tais como índice de forma mais próximos a 1, pequena extensão de área ocupada e perímetro. No período de estiagem o tamanho médio dos lagos é de 23.200 m<sup>2</sup>, com perímetro médio de 811,03 m, e índice de forma médio de 1,49. No período chuvoso o tamanho médio é de 44.947 m<sup>2</sup>, com perímetro médio de 1.106 m e índice de forma médio de 1,41. A figura 6 ilustra os tipos de lagos encontrados na paisagem do lavrado.

Figura 6 - Principais tipos de lagos do lavrado.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: (A) Lagos semicirculares isolados, ao fundo confluência dos rios Uraricoera e Tacutu; (B) Lago semicircular isolado em borda de ilha de mata; (C) Lago de nascente em veredas (D) Lagos de cheia isolados circulares e conectados.

No Estado de Roraima, os ambientes agradacionais destacam-se pelo baixo gradiente, no caso do lavrado predomínio de  $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$ , por possuírem planícies fluviais bem desenvolvidas, em que os principais rios formam pelo menos 17.500 km<sup>2</sup> de área úmida, com formações de sistemas lacustres fluviais e os desconexos destes, formando ambientes periodicamente alagáveis, no lavrado (NE de Roraima) e nas campinaranas (centro-sul de Roraima). No lavrado estes ambientes lânticos e lóticos formam um sistema hidrogeomorfológico e ecológico entremeado por campos e igarapés com 11.340 km<sup>2</sup> de extensão total, constituindo morfologias típicas de sistemas deposicionais. No período chuvoso, em alguns trechos formam um sistema interconectado entre si e aos igarapés e rios (conectividade flúvio-lacustre), abrangendo 832,62 km<sup>2</sup>. Estes lagos variam de 2.300m<sup>2</sup> a 18km<sup>2</sup>. Durante a estiagem o somatório da área dos lagos é de 136,27 km<sup>2</sup>, cujos tamanhos variam de 2.300 m<sup>2</sup> a 3 km<sup>2</sup>. São

inúmeros lagos dispersos na paisagem do lavrado, os quais podemos contabilizar, em uma primeira análise, cerca de 17.000 lagos entre os perenes e sazonais.

Estes ambientes em Roraima são importantes para compreensão sobre sua dinâmica hidrogeomorfológica, ecológica e de gestão territorial. Outro exemplo destes ambientes lacustres são as campinaranas no centro-sul de Roraima, abrangem cerca de 8.000 km<sup>2</sup>, imposta sobre paleo-aluviões do sistema de drenagem dos rios Catrimani e Água Boa do Univini, afluentes do rio Branco, e do Xeruini, afluente do rio Negro. Estas áreas úmidas em Roraima, levando em consideração somente rios com planícies fluviais desenvolvidas, campos com sistemas lacustres, e áreas de influência de buritizais, ocupam uma área total em torno de 36.840 km<sup>2</sup>.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Estado de Roraima abrange relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com nível de base local representado pela formação de sistemas lacustres pelo solapamento do manto de intemperismo (saprólito), e planícies fluviais bem desenvolvidas; e sistemas erosivos, escarpados, como o Sistema Parima-Pacaraima, composto por morfologias denudacionais com forte controle estrutural e forte dissecação, o qual atua como frente de erosão recuante entre o sistema de drenagem do Orinoco (Venezuela) e do rio Branco (Roraima).

Dentre os diversos ambientes geomorfológicos de Roraima, os sistemas lacustres são os elementos presentes em abundância na paisagem do lavrado. Possuem características morfológicas únicas no Estado, em virtude dos processos gerados a partir de sua origem e evolução morfogenética. O grau de conectividade dos lagos é uma característica marcante deste sistema que fragmenta a paisagem do lavrado, a qual se comporta de duas maneiras: no período chuvoso são mais interconectados entre si e a rede de drenagem da região; no período de estiagem essas conexões se dissipam resultando em uma paisagem com lagos perenes isolados e pouco conectados a rede de drenagem, a qual é majoritariamente composta por canais de primeira e segunda ordem.

Percebe-se sobre esta paisagem, formada por ambientes lacustres, assim como os fluviais, é a mais dinâmica de Roraima, está em constante mudança, a uma escala anual. Algumas outras são na ordem de décadas, como as áreas urbanas, povoados, e seu em torno; outras de milhares de anos, como as mudanças da cobertura vegetal de ordem natural, e feições do relevo, principalmente no sistema erosivo

recuante Parima-Pacaraima, divisor de águas da bacia hidrográfica do Orinoco (Venezuela) e rio Branco (Roraima). São estudos por vezes não possuem aplicação imediata, e por outra são a base para contornar problemáticas como sobre a expansão de Boa Vista, de interesse do poder público, o qual deve contornar situações de vulnerabilidade à alagamentos, recorrentes na cidade por ser uma área naturalmente suscetível a tal risco ambiental.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais Quaternários. **Orientação**, v.3, p.1-19, 1977

BARBOSA, R.I.; MIRANDA, I.S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: Barbosa, R.I.; Xaud, H.A.M.; Costa e Souza, J.M. (Eds), **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**. Boa Vista, FEMACT. 2005. 202p.

BAYER, M; CARVALHO, T. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. **Revista de Estudos Ambientais**. v.10, n.2. p.24-31. 2008.

CARNEIRO-FILHO, A.; TATUMI, S.H.; YEE, M. Dunas fósseis na Amazônia. **Ciência Hoje**, v.32, n.191, p.24-29. 2003.

CARVALHO, T. M., CARVALHO, C.M., MORAIS, R.P. Fisiografia da paisagem e aspectos biogeomorfológicos do lavrado, Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.17, p.94 – 107. 2016.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Paisagens e Ecossistemas. In: **Socioambientalismo de fronteiras: relações homem-ambiente na Amazônia** (Silveira, E.D.;Serguei,A.F.C. - Org.). Ed. Juruá, Curitiba. p.43-68, 2015.

CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n.1, p. 35-41, 2008.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies. **Quaternary Science Journal**, v.61, n.2, p.146-155. 2012.

CARVALHO, T.M.; LATRUBESSE, E. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: o Caso da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.5, n.1, p.85-93. 2004.

CARVALHO, T.M. ; ZUCCHI, M.R. Morfometria e caracterização do meio físico de ambientes lacustres no vão do Paranã-Goiás, Brasil. Uma primeira aproximação. **Terra Nueva Etapa**, v. 25, n.38, p. 90-111. 2009.

CARVALHO, T.M. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. *Geosul*, v. 24, n. 47, p.147-160. 2009b.

DUCKE, A.; BLAKE, G.A. Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.19, p.1-46, 1953.

EGLER, W. A. Contribuição ao conhecimento dos campos da Amazônia. I – Os campos do Ariramba. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi - Botânica**, v.4, p.1-36, 1960.

EITEN, G. Habitat flora of fazenda Campininha, São Paulo, Brazil. **In: Simpósio sobre o cerrado**. (org. FERRI, M.G.).Anais, Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP. 1963.pp. 179-231.

GOERL, R.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, nº 2. 2012.

GUERRA, A.T. Os lateritos dos campos do rio Branco e sua importância para a Geomorfologia. **Rev. Brasileira de Geografia**. v.17, n.2, p.100-104. 1955.

HENGL T.; EVANS, I. **Mathematical and Digital Models of the Land Surface**. **In: Geomorphometry: Concepts, Software and Applications** (Org.Hengl,T;Reuter,H). Ed. Elsevier. Hesse, Amsterdam. 2009. p.31-63.

IRIONDO,M.;LATRUBESSE,E. A probable Scenario for a dry Climate in Central Amazônia during the Late Quaternary. **Quaternary International**, v.21, p.121-128. 1994.

JUNK, W.J., BAYLEY, P.B.;SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian of Fisheries and Aquatic Sciences**, n.106, p.110–127. 1989.

MENEZES, E.; COSTA, M.; COSTA, J. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p.478-489. 2007.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T.M. Aspectos dinâmicos da paisagem do lavrado, nordeste de Roraima. **Revista Geociências**, v. 34, n.1, p. 55-68, 2015.

MORAIS, R.P.; CARVALHO, T.M. Cobertura da Terra e Parâmetros da Paisagem no Município de Caracará – Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.1. 2013.

MORAIS, R. AQUINO, S. LATRUBESSE, E. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum, Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 411-421. 2008.

MURÇA PIRES, J. Tipos de vegetação da Amazônia. **Brasil Florestal**, n.17, p.48-58. 1974.

OLIVEIRA, J.; CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.8, n.1, p.61-80. 2014.

PESSENDA, L.C.R., OLIVEIRA, P., MOFATTO, M., GARCIA, R. ARAVENA, R., LEITE, A.Z. The evolution of a forest/grassland mosaic since 28,000 C-14 yr BP based on pollen and carbon isotopes. **Quaternary Research**, v.71, p.437-452, 2009.

SANTOS, A.L.; CARVALHO, C.M.; CARVALHO, T.M. Importância de remanescentes florestais para conservação da biodiversidade: estudo de caso na mata atlântica em Sergipe através de sensoriamento remoto. **Rev. Geográfica Acadêmica**, v.7, n.2, p. 58-84. 2013.

SCHEIDEGGER, A. Hydrogeomor-phology. **Journal of Hydrology**, n. 20, p.193-215. 1973.

TAKEUCHI, M. A estrutura da vegetação na Amazônia. As savanas do norte da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** v.7, p. 1-14. 1960

TIMMS, B.V. Lake gomorphology. Gleneagles Publishing, **Adelaide**. 180 p. 1992.

VANZOLINI, P. E. A quasi-historical approach to the natural history of the differentiation of reptiles in tropical geographic isolates. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.34, n.19, p.189-204. 1981.

VANZOLINI, P.E., CARVALHO, C.M. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brasil Sauria:Teiidae . **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.37, p.173-226, 1991.

VELOSO, H. P. et al. Capítulo IV - Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos, estudo fitogeográfico. Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: **Projeto RadamBrasil**. Rio de Janeiro, 1976. p.305-404.

WANTZEN, K.M.; ROTHHAUPT, M.M.;CANTONATI,M.;TÓTH,L.G.;FISCHER,P. Ecological effects of water-level fluctuations inlakes: an urgente issue. **Hydrobiologia**, n.613, p.1-4. 2008.

WETZEL, R.G. **Limnology**. Philadelphia. W.B. Saunders, Co. 1975. 743p.



## APÊNDICE 4

### COMPARTIMENTAÇÃO DAS BACIAS DOS RIOS URARICOERA E TACUTU, RORAIMA, COM BASE EM PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS DO RELEVO

#### RESUMO

O presente artigo analisa os aspectos morfométricos das bacias dos rios Uraricoera e Tacutu, as quais formam o sistema de drenagem do alto rio Branco, principal rio que drena o Estado de Roraima. A metodologia utilizada foi com base nas análises de parâmetros geomorfométricos obtidos dos modelos de elevação da SRTM. Os resultados obtidos foram dados como área, perímetro, comprimento, índice de compactidade, amplitude, comprimento do canal, sinuosidade, índice de circularidade, densidade de drenagem e rugosidade. A partir das análises, consideramos o sistema hidrográfico do Uraricoera sendo o principal do alto rio Branco, cuja drenagem abrange uma área de 49.630 km<sup>2</sup>, com perímetro de 1.525 km, e comprimento de 499.506 km. A bacia do rio Tacutu possui uma drenagem que abrange 42.528 km<sup>2</sup>, com perímetro de 1.412 km, comprimento de 255.726 km. Os dados em análise nos permitem uma melhor compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica do sistema do alto rio Branco, que diferentemente das demais regiões amazônicas, nas quais os rios são alóctones na maioria, em Roraima o sistema de drenagem em grande parte é autóctone. Estes rios atravessam as diferentes unidades morfoestruturais que compõem a região de Roraima, sendo fundamental a caracterização, compartimentação e análise fisiográfica dessas bacias.

**Palavras-chave:** Bacias Hidrográficas. Rio Uraricoera. Rio Tacutu. Geomorfometria. Compartimentação.

#### ABSTRACT

This article analyze the morphometric features of Uraricoera and Tacutu drainage basin, both drainage basins form the upper Branco river drainage system, main river of Roraima. The methodology used was based on the analysis of geomorphometric

parameters obtained from SRTM elevation models. The results were data geomorphometric parameters basin, such as area, perimeter length, compactness index range, the channel length, tortuosity, circularity index drainage density and roughness. From some data consider the hydrographic system Uraricoera being the main upper Branco river, whose drainage covers an area of 49,630 km<sup>2</sup>, with a perimeter of 1.525 km, and length of 499,506 km. The basin of the Takutu river has a drainage covering the area of 42,528 km<sup>2</sup>, with a perimeter of 1,412 km, length of 255,726 km. The data analysis allows us to better understand the hydrogeomorphological dynamics of the upper Branco system, which unlike the other amazonian regions where rivers are allochthonous mostly in Roraima the drainage system is largely autochthonous. These rivers run through the different morphostructural units that make up the region of Roraima, it is fundamental to identify, compartmentalization and physiographic analysis of these basins.

**Keywords:** Drainage Basin. Uraricoera River. Tacutu River. Geomorphometry. Compartmentation.

## 1 INTRODUÇÃO

Esse estudo baseia-se em parâmetros geomorfométricos para caracterizar os compartimentos das bacias hidrográficas dos rios Uraricoera e Tacutu, os quais formam o sistema de drenagem do alto rio Branco, principal rio que drena o estado de Roraima, afluente da margem esquerda do rio Negro.

Iniciou-se primeiramente com a delimitação e compartimentação das bacias hidrográficas em questão, onde os novos ajustes de seus limites foram importantes para correções dos divisores de água, antes não identificados, por problemas de escala de análise e metodológico, como dados do Radambrasil e Agência Nacional de Águas (ANA), os quais são bases de fundamental importância para diversos estudos, porém, disponibilizam bases de dados em escalas geralmente menores que 1:250.000, o que acarreta em mascarar alguns divisores de água, gerando problemas nos limites da bacia hidrográfica.

As análises realizadas com base em modelos digitais de elevação têm mais facilidade para identificar claramente morfologias, como divisores de água, e obter dados geomorfométricos, por exemplo, possibilitando delimitar de forma mais confiável

e exata os limites topográficos (divisores de água). Segundo Carvalho e Bayer (2008) este ramo da ciência pode ser dado a Geomorfometria, ciência interdisciplinar que combina a ciência da terra, da matemática e da computação, útil em descrever a superfície terrestre, através de uma representação digital numérica (matricial), com base na parametrização do relevo, ou seja, analisar as características morfológicas do relevo através de índices topográficos. Este método consiste no processo de extração de atributos quantitativos do relevo, por exemplo, hipsometria, declividade, rugosidade, concavidades/convexidades, dentre outros (WOOD, 1996; CARVALHO; LATRUBESSE, 2004; CARVALHO; BAYER, 2008).

As análises aqui apresentadas serviram de base para a compartimentação das bacias hidrográficas dos rios Uraricoera e Tacutu, cuja importância foi delimitar o trecho da alta, média e baixa bacia de ambos os rios, os quais são formadores do alto rio Branco.

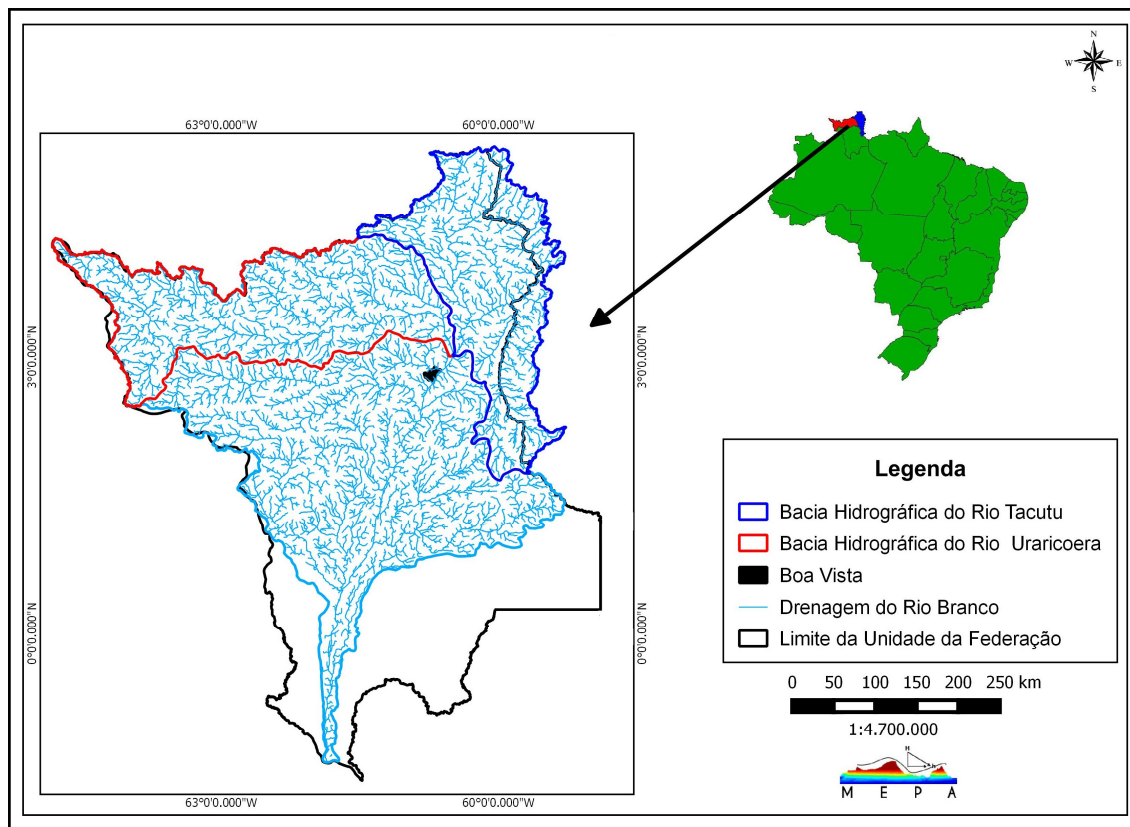
## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Branco possui uma drenagem abrangendo 187.540 km, perímetro de 3.253 km, drenando 78% de Roraima, dos quais 12.310 km<sup>2</sup> são pertencentes às nascentes na região oeste da Guiana. Considera-se o rio Branco a partir da confluência dos rios Uraricoera e Tacutu, cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista, formando uma planície fluvial de 3.419 km<sup>2</sup>.

No entanto, do ponto de vista geomorfológico, o rio Branco é a extensão do rio Uraricoera, tendo como afluente, na margem esquerda, o rio Tacutu. De acordo com critérios geomorfológicos, como largura da planície de inundação, largura do canal e fluxo (vazão), tornam o rio Uraricoera mais expressivo que o Tacutu, sendo que estes dois sistemas formam a alta bacia hidrográfica do rio Branco, com uma área de 92.622 km<sup>2</sup> (Figura 1), dados os quais estão em análises no Laboratório de Métricas da Paisagem (MEPA), Departamento de Geografia/UFRR.

Figura 1 – Localização das bacias hidrográficas dos rios Uraricoera e Tacutu.



Fonte: Elaboração própria.

A bacia hidrográfica do Tacutu localiza-se no Nordeste do Estado de Roraima, no flanco esquerdo da alta bacia hidrográfica do rio Branco, nasce na região da serra Wamuriaktawa na Guiana e flui para o norte, ao longo da fronteira Brasil – Guiana em quase toda extensão. Os principais afluentes do Tacutu são os rios Surumu e o Cotingo.

A bacia do rio Uraricoera localiza-se a Noroeste do Estado de Roraima, no flanco direito da alta bacia do rio Branco, sendo que passa a se chamar rio Uraricoera com a junção do rio Parima com e o Inajá. Suas nascentes situam-se no complexo das serras do Parima, do Auaris e Urutanin, divisa entre Roraima e Venezuela.

Conforme Franco et al (1975) a compartimentação do relevo da região da bacia do Tacutu é considerada pertencente às unidades morfoestruturais Planalto Residual de Roraima, borda SSE da bacia, e no seu interior o Planalto Dissecado Norte da Amazônia e Pediplano Rio Branco - Rio Negro, estruturados respectivamente nos arenitos da Formação Serra do Tucano e nos sedimentos areno-argilosos da Formação Boa Vista (FRANCO et al., 1975; CPRM, 1999). A bacia do Tacutu geomorfologicamente foi gerada por um processo de abatimento tectônico que

propiciou a instalação da bacia sedimentar em uma estrutura de graben, por isso a denominação Graben do Tacutu (FRANCO et al., 1975; CPRM, 1999). Quando o curso do rio Tacutu flui pelo NE de Roraima passa a receber importantes contribuições dos rios Jacamim, Urubu e Arraia, ocorrendo um aumento no seu volume d'água, promovendo um alargamento de sua planície de inundação. A paisagem da bacia do Tacutu é composta por campos de vegetação gramíneo-lenhosa, região denominada de lavrado.

O alto curso do rio Uraricoera é representado pelas serras Uafaranda, Uratanin e Tepequém, na forma de extensos planaltos, mesas residuais, topos convexos esculpidos em rochas gnáissicas e rochas granitoides. O médio Uraricoera possui como substrato rochas metamórficas (relevo cristalino), como quartzitos e basaltos do escudo cristalino da Guiana. O controle estrutural é evidenciado pelos alinhamentos e formas de relevo de topos estreitos e alongados, definidos por vales encaixados. No baixo Uraricoera a extensa superfície plana se instala sobre as rochas vulcânicas do grupo Surumu, como também sobre granitóides das suítes Pedra Pintada e Saracura, além dos sedimentos da formação Boa Vista, que são predominantes na porção central e sul da depressão Boa Vista (CPRM, 1999).

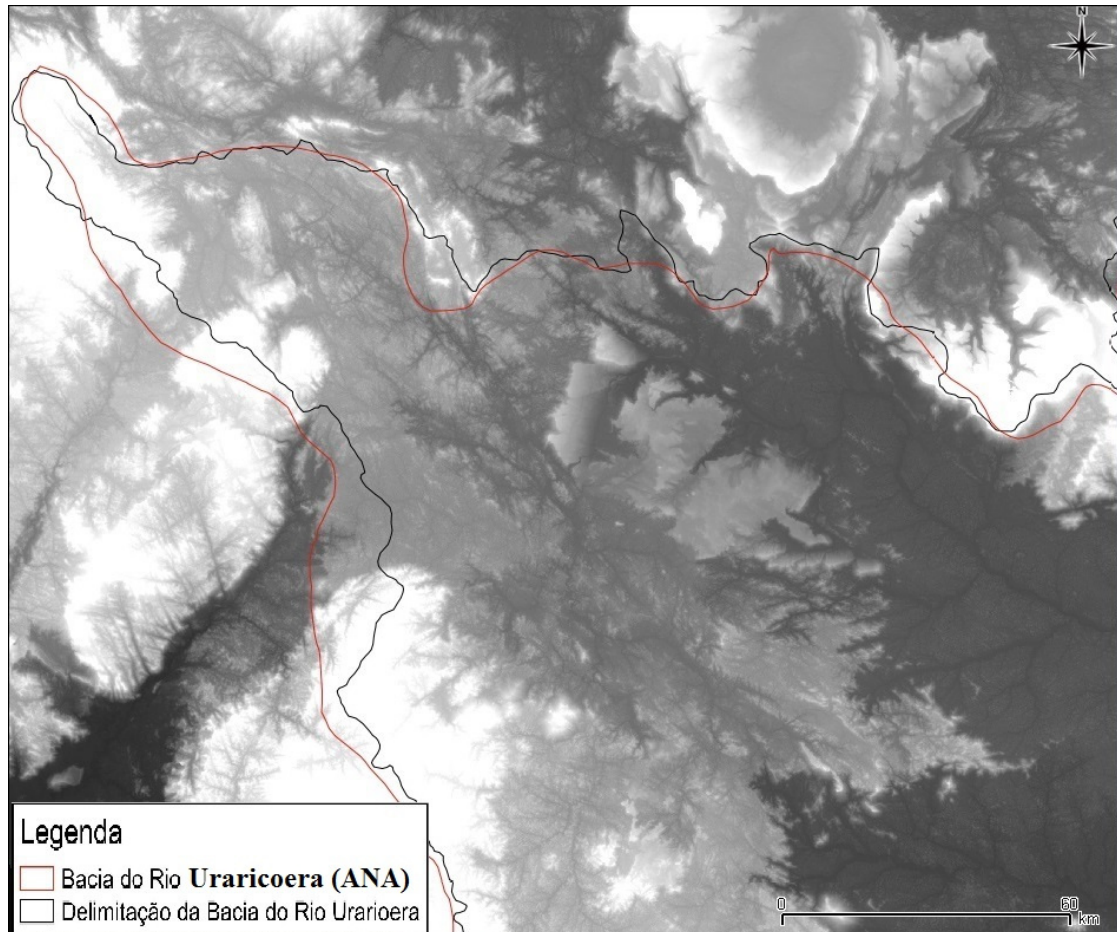
De acordo com os aspectos hidrográficos, o rio Uraricoera quando comparado ao Tacutu, mostra picos de cheias mais prolongados e menos agudos, sendo um rio com maior dinâmica hidrológica que o Tacutu, este último apresenta picos de cheia de curta duração (SANDER; WANKLER; CARVALHO, 2016).

Foram utilizadas imagens da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros, possibilitando a extração automática da rede de drenagem. Com base na drenagem e através da identificação dos divisores de água, com auxílio de perfis topográficos, foi possível a delimitação das bacias hidrográficas (escala 1:50.000), e compartimentar os padrões de drenagem. Perfis topográficos longitudinais foram úteis para identificar o gradiente dos rios Uraricoera e Tacutu, importante para auxiliar na segmentação do alto, médio e baixo rio, e conseqüentemente na compartimentação da alta, média e baixa bacia, conforme metodologia de Carvalho; Latrubesse (2004) e Oliveira; Carvalho (2014).

Ao realizar a delimitação das bacias estudadas, foi possível realizar novos ajustes importantes para as correções dos divisores de água, antes não identificados por causa da escala de análise e metodológico, dados esses como da ANA (Agência Nacional de águas), nos quais são bases importantes para diversos estudos, porém,

disponibilizam bases de dados com escalas geralmente menores que 1:250.000, o que acarreta em mascarar alguns divisores de água ( Figura 2).

Figura 2 – Comparativo do limite da bacia do rio Uraricoera pela Agência Nacional de Águas (ANA) com ajustes realizados manualmente.



Fonte: Modelo de elevação da SRTM.

Os parâmetros morfométricos calculados foram perímetro, índice de compacidade, densidade de drenagem, rugosidade e amplitude altimétrica. Estes dados foram obtidos com base na análise vetorial das bacias e com base nas imagens da SRTM. O índice de circularidade foi calculado com base na equação  $I_c = 12,57 * \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}^2}$ , (mais próximo de 1,0 terá forma circular), o índice de compacidade foi calculado com base na equação  $K_c = 0,28 * \frac{\text{Perímetro}}{\sqrt{\text{Área}}}$ , determina a vulnerabilidade de cheias de uma bacia. A sinuosidade foi calculada com base na equação  $I_s = \frac{\text{comprimento do canal}}{\text{comprimento em linha reta}}$  (valores acima de 1.5 possuem tendência meandriforme). Com base na equação  $H_m = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$  (H=altitude) foi possível obter a amplitude altimétrica indicando o desnível médio das

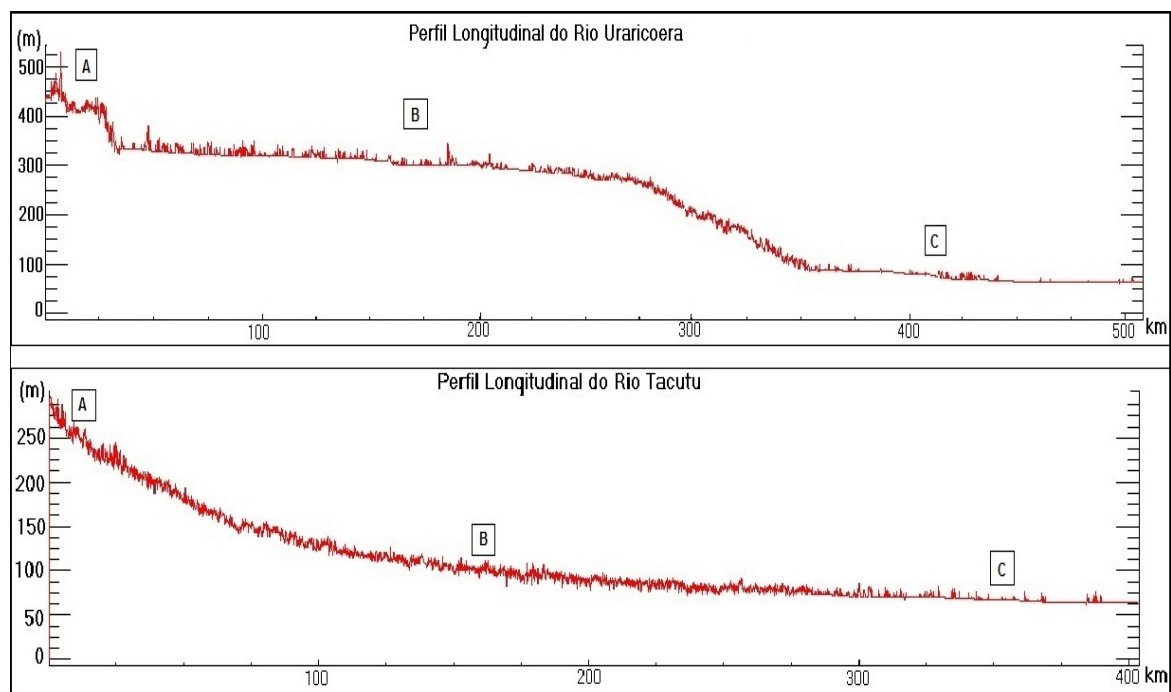
bacias. Para o cálculo da densidade de drenagem utilizou-se a equação  $Dd = \text{comprimento dos canais} / \text{Área}$  (importante para demonstrar a capacidade de infiltração/dissecação da bacia). A rugosidade do relevo foi calculado de acordo com a equação  $Rr = Hm$  (amplitude topográfica) /  $Lh$  (comprimento da bacia), onde tem a importância na análise da energia do relevo indicando condições mais propícias à dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados iniciais são importante para se obter dados atualizados sobre a compartimentação das bacias e parâmetros morfométricos, contribuindo para uma caracterização física das bacias hidrográficas mais eficiente e detalhada, permitindo uma análise posterior do comportamento hidrogeomorfológico destes ambientes.

Através dos perfis longitudinais (Figura 3) ao longo dos rios, notam-se as quebras dos gradientes, sendo possível realizar a compartimentação da alta, média e baixa das bacias hidrográficas.

Figura 3 – Perfis longitudinais dos cursos dos rios Uraricoera e Tacutu, alto (A), médio (B) e baixo (C).



Fonte: Elaboração própria.

A bacia hidrográfica do rio Uraricoera esta compartimentada da seguinte forma: alta bacia corresponde a uma área de 11.800 km<sup>2</sup>, com perímetro de 687 km; a média corresponde a uma área de 13.650 km<sup>2</sup>, com um perímetro no total de 791 km; e a baixa bacia com área de 24.180 km<sup>2</sup>, com perímetro de 910 km. Esta bacia abrange uma área de 49.630 km<sup>2</sup>, com um perímetro no total de 1.525 km e o comprimento correspondendo a 500 km. O comprimento do perfil longitudinal ao longo do canal corresponde a 522 km.

Com relação aos compartimentos da bacia hidrográfica do rio Tacutu, estes possui os seguintes seguimentos: alta bacia corresponde a uma área de 1.735 km<sup>2</sup>, com perímetro de 217 km; a média corresponde a uma área 10.881 km<sup>2</sup>, com perímetro correspondente a 578 km; a baixa bacia abrange 29.912 km<sup>2</sup>, com perímetro de 1.100 km. Sua área total é de 42.528 km<sup>2</sup>, um perímetro de 1.412 km e o comprimento corresponde a 255,72 km. O comprimento do perfil longitudinal ao longo do rio corresponde a 415 km. Os resultados geomorfométricos das duas bacias estão apresentados na tabela 1.

Dentre os parâmetros físicos das bacias hidrográficas, os dados do índice de circularidade mostram que ambas as bacias não são circulares, são alongadas, mostrando que as bacias são susceptíveis ao escoamento rápido, sem risco de grandes cheias prolongadas.

A densidade de drenagem da bacia do Uraricoera corresponde a 0,35 km/km<sup>2</sup>, mostrando que a bacia possui um relevo altamente dissecado, respondendo de forma mais lenta a uma determinada quantidade de chuva, com maior prolongamento das cheias. A bacia do Tacutu corresponde a 0,16 km/km<sup>2</sup>, demonstrando que a região tem respostas hidrológicas rápidas, com picos de cheias e menor tempo de duração. Quanto ao índice de compacidade, o da bacia do rio Uraricoera corresponde a 1,9 e o da bacia do Tacutu corresponde a 1,91, onde os índices confirmam que as bacias não são susceptíveis a enchentes, pois tem a capacidade de escoamento rápido.

Outro parâmetro é o índice de sinuosidade, no qual a bacia do Uraricoera tem a sinuosidade correspondente a 1,04, ou seja, não possuindo tendência a ser meandriforme, sendo um canal retilíneo e o Tacutu corresponde a 1,62 mostrando tendência do rio a ser meandriforme, principalmente na baixa bacia, onde se notam muitos meandros abandonados.



Tabela 1 - Parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas dos rios Uraricoera e Tacutu.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Comprimento (km)	Índice de compactidade	Amplitude (m)	Comprimento do canal (km)	Sinuosidade	Índice de circularidade	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Rugosidade
<b>Uraricoera</b>										
Alta	11.800	687	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	13.650	791	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixa	24.180	910	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	49.630	1.525	499,50	1,9	1088	522	1,04	0,26	0,35	2,17
<b>Tacutu</b>										
Alta	1.735	217	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	10.881	578	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixa	29.912	1.100	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	42.528	1.412	255,72	1,91	988	415	1,62	0,26	0,16	3,86

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os padrões de drenagem, foi possível observar que o padrão predominante nas bacias hidrográficas dos rios Uraricoera e Tacutu é o dendrítico, que se desenvolve tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontalmente, sendo que seus canais distribuem-se em todas as direções sobre a superfície e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar ao ângulo reto.

A presença do padrão sub-dendrítico e retangular nas altas bacias de ambos os rios, demonstrando que as regiões tem forte controle estrutural. Já nas médias bacias os padrões encontrados são o retangular, dendrítico e sub-dendrítico em ambas as bacias. Na baixa bacia do Uraricoera é predominante o padrão dendrítico, porém na baixa bacia do rio Tacutu ocorre à presença do padrão paralelo, demonstrando que a dissecação do relevo nessa bacia é mais fraca que do rio Uraricoera com superfícies mais aplainadas, demonstrando que a região possui vertentes com declividade acentuada e controle estrutural.

Com relação a hipsometria, a bacia do Uraricoera apresenta a amplitude altimétrica máxima de 1.088 m e a amplitude altimétrica da bacia do Tacutu é de 988 m. O índice de rugosidade da bacia do Uraricoera é de 2,17, demonstrando que a bacia apresenta ambientes de médio declive e com topos estreitos e alongados e a relação da rugosidade do Tacutu é de 3,86, demonstrando que a bacia possui um relevo bastante

dissecado, que é favorável a produção de sedimentos, apresentando uma superfície ondulada propicia a erosão.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises de parâmetros geomorfométricos obtidos dos modelos de elevação da SRTM, foi possível gerar produtos de fundamental importância para ambas as bacias, com isso os resultados obtidos foram dados atualizados e mais precisos dos parâmetros geomorfométricos, como área, perímetro, comprimento, índice de compactidade, amplitude, comprimento do canal, sinuosidade, índice de circularidade, densidade de drenagem e rugosidade.

Estes são parâmetros importantes para posterior caracterização geomorfológica e fisiográfica da região com base na compartimentação dos sistemas denudacionais e agradacionais de Roraima.

Os aspectos físicos foram utilizados nessa pesquisa para entender melhor o funcionamento das duas bacias estudadas, obtendo dados qualitativos, e assim conhecendo os aspectos fisiográficos e geomorfológicos dessa região.

Os produtos base utilizados no estudo e os resultados servirão para criação de um banco de dados geográficos com os aspectos descritivos sobre o meio físico, aspectos fisiográficos e geomorfométricos das bacias hidrográficas do rio Uraricoera e Tacutu.

#### REFERÊNCIAS

CARVALHO, T.M.; LATRUBESSE, E. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: o Caso da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n1, 85-93p. 2004.

CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, p. 35-41, 2008.

CARVALHO, T.M.; MORAIS, R.P. Aspectos hidrogeomorfológicos do sistema fluvial do baixo rio Uraricoera e alto rio Branco como subsídio à gestão de terras. **Geografias**, v.10, n.2, p.118-135, 2014.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M., MORAIS, R.P. Aspectos Fisiográficos e Biogeomorfológicos da Paisagem do Lavrado, Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de**

**Geomorfologia**, v.17, n.1, p.94-107, 2016.

CASTRO, S; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v.5, n.2, p.1-7. 2009

CPRM. 1999. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Projeto Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (inteiras), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-VC (parciais). Escala 1:500.000. Estado do Amazonas .Brasília: CPRM, 1999. CD-ROM

SANDER, C. WANKLER, F. L. CARVALHO, T. M. Dinâmica fluvial do sistema do alto rio Branco, estado de Roraima. In: HOLANDA, E. C.; NETA, L. C. B. (Orgs). **Geociências na Pan-Amazônia**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2016. V. 1, 276 p.

FRANCO, E. M. S.; DEL'ARCO, J. O.; RIVETTI, M. Geomorfologia da folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: Brasil. Projeto **RADAMBRASIL**, 1975.

OLIVEIRA, J.; CARVALHO, T. M. 2014. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.8, n.1, p.61-80.

SALGADO, A.A.R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Geografias**. Belo Horizonte 03(1) 64-78 janeiro-junho de 2007. p. 64-78.

WOOD J. 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Tese (doutorado), University of Leicester, Leicester, 185 p. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>. Acessado em: 24/02/2015

## APÊNDICE 5

### BIOGEOGRAFIA E CONTRIBUIÇÕES À CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS DE RORAIMA: EXEMPLO DA FLORÍSTICA DA PLANÍCIE FLUVIAL DO RIO BRANCO

#### RESUMO

O rio Branco é um sistema fluvial que drena regiões formadas por florestas e áreas campestres, com rios de águas preta, clara e branca, tornando integrada uma classificação do ponto de vista ecológico e geomorfológico. Neste estudo é dado um exemplo da importância da interação da biogeografia com a geomorfologia, através de dados florísticos da vegetação da planície fluvial do rio Branco, como suporte na classificação deste sistema fluvial. Foram identificados 2.331 indivíduos entre o alto e baixo Branco, foram registrados somente os indivíduos com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou maior que 10 cm, distribuídos em três parcelas de 1 ha no baixo rio Branco (região do Catrimani e Boiaçu) e três parcelas de 1 ha no alto rio Branco, nas proximidades da cidade Boa Vista e Serra Grande. Análises preliminares indicam uma densidade média de 388 ind./ha, sendo que destes 944 foram registrados no alto Branco, com densidade média de 314 ind./ha. No baixo Branco foram registrados 1.387 indivíduos, com uma densidade média de 462 ind./ha. Com base nas listas de espécies identificadas em inventários florísticos de várzea e igapó na literatura, observou-se que 55% estão relacionadas à ambiente de várzea; e 20% à ambiente de igapó. Esta análise permite classificar este ambiente, do ponto de vista fitoecológico, como rio de águas mistas, clara (igapó) e branca (várzea). Estes dados irão fornecer subsídios para responder perguntas, por exemplo, como classificar com viés hidrogeomorfológico/geoecológico a planície fluvial do rio Branco?

**Palavras-chave:** rio Branco, biogeografia, geomorfologia, igapó, várzea.

#### ABSTRACT

The Branco River is a river system that drains regions formed by forests and open areas, with rivers with black, clear and white waters, making confusing a classification from the ecological and geomorphological viewpoint. This study gives an example of the

importance of the interaction of biogeography with geomorphology, through floristic data of the vegetation of Branco fluvial plain, as support in the classification of this fluvial system. 2,331 individuals were identified between high and low Branco, only individuals with a DBH (Diameter Breast Height) equal or greater than 10 cm were recorded, distributed in three plots of 1 ha in the lower Branco River (Catrimani and Boiaçu region); and three plots of 1 ha in the upper Branco River, near the city Boa Vista and Serra Grande. Preliminary analyzes indicated an average density of 388 ind./ha, which 944 were recorded in the upper Branco, with a mean density of 314 ind./ha. In lower Branco River 1,387 individuals were registered, with an average density of 462 ind./ha. Based on the lists of species identified in floristic inventories of várzea and igapó in the literature, it was observed that 55% are related to the várzea environment; and 20% to the igapó environment. This analysis allows us to classify this environment, from a phyto-ecological viewpoint, as a mixed-water, clear (igapó) and white (várzea) river. These data will provide subsidies to answer questions, for example, how to classify the fluvial plain of the Branco River as a hydrogeomorphological / geoecological?

**Keywords:** Branco River, biogeography, geomorphology, igapó, várzea.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente, advindo dos processos de ocupação da terra e intenso uso dos recursos naturais, criou uma premente demanda relacionada ao conhecimento das características ambientais regionais. Este conhecimento, incentivado pelos órgãos governamentais, são apresentados na forma de estudos que permitem conhecer a composição básica dos conjuntos paisagísticos e aspectos da fauna e flora de uma região.

A inter-relação entre a biodiversidade e os aspectos físicos regionais, por exemplo, estudos que relacionam a dinâmica dos aspectos morfológicos do relevo e a biota, geram conhecimento sobre a descrição dos habitats que ocorrem nos ecossistemas, essencial para entendermos a estrutura e o funcionamento das comunidades vegetais e animais. Um exemplo são estudos interdisciplinares, como a interação entre ciências centrais básicas como a geografia e biologia, as quais fornecem os princípios teóricos e metodológicos para diversas vertentes, como a geomorfologia e

a biogeografia. Esta interação fornece conhecimento de como as espécies se distribuem geograficamente e sobre a dinâmica morfogenética destes ambientes, importante para responder perguntas relacionadas à origem e evolução de populações da fauna e flora, e suas interações com meio físico e climático.

Em Roraima, estudos recentes interligando a geomorfologia e biogeografia são exemplos desta interação, como proposto por Carvalho, Carvalho e Morais (2016) na análise biogeomorfológica e fisiográfica do lavrado (NE de Roraima), além de outros propondo uma classificação morfogenética e hidrogeomorfológica regional, levando em consideração análises com enfoque na paisagem (MORAIS; CARVALHO, 2015).

Qualquer que seja a abordagem que requeira os conhecimentos paisagísticos de uma região, são essenciais as caracterizações do relevo, vegetação, hidrografia, solos e clima (AB'SABER, 1977). Estes são parâmetros que definem um domínio morfoclimático e permitem considerações com relação, por exemplo, à composição de espécies e distribuição destas nos vários habitats de um ecossistema. O conhecimento sobre uma região pode ser utilizado para fins de classificação de ambientes, compreender sua dinâmica, e os variados serviços ambientais, que através de zoneamentos, fornecem subsídios para a gestão de terras, visando utilização racional dos recursos naturais.

Neste contexto, o entendimento de conceitos que permeiam as disciplinas biológicas é tão importante quanto os conceitos próprios das disciplinas físicas, como a geografia, geomorfologia e geologia. O uso de ferramentas apropriadas torna-se fundamental para interpretarmos padrões paisagísticos, como o sensoriamento remoto, que através de imagens orbitais, fotografias aéreas e modelos digitais de elevação, têm sido fundamentais para a caracterização morfológica do relevo, e descrição dos habitats regionais.

A seguir são tecidos alguns comentários sobre o que é biogeografia e sua aproximação com a geomorfologia, cujos alicerces estão na biologia e geografia. Biologia pelo viés da ecologia, por dar subsídios no entendimento dos fluxos/ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas e fluxos gênicos entre populações. O viés da geografia se dá pela capacidade em correlacionar aspectos do meio físico, biótico, climático e respectivas interações de seus fenômenos em escala temporal e espacial, possibilitando, por exemplo, uma reconstituição paleogeográfica do ambiente. Posteriormente é dado um exemplo da importância desta interação, através de dados florísticos da vegetação da planície fluvial do rio Branco, como suporte na classificação

deste sistema fluvial, cuja pesquisa está em andamento através do Laboratório de Métricas da Paisagem (Dep. de Geografia/UFRR); e acordo de cooperação técnico-científica com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

Com relação à área de estudo aqui exemplificada, esta foi escolhida em virtude das suas peculiaridades dentro do domínio amazônico. O rio Branco é um sistema fluvial que drena regiões formadas por florestas e áreas campestres, com rios de águas preta, clara e branca, tornando confuso uma classificação do ponto de vista ecológico e geomorfológico.

### **1.1 Interação entre biogeografia e geomorfologia**

A biogeografia tem por objetivo estudar a distribuição dos seres vivos no espaço e através do tempo, ou seja, estudo da dinâmica da flora e fauna na escala espacial e temporal. Se observarmos sobre a distribuição da vida no planeta, iremos perceber que esta ocorre de forma diferenciada, ou seja, a diversidade de espécies varia entre os diversos ambientes da Terra, o que pode ser facilmente compreendido no quintal de uma casa. Existem espécies adaptadas ao sub-solo, outras na vegetação, outras nas áreas mais úmidas e assim conforme as variações do ambiente. Por este motivo, existem áreas que possuem uma diversidade de espécies maior que outras, e áreas com espécies diferentes ocupando o mesmo ambiente.

Em outros casos, ocorrem espécies restritas a uma determinada área (de escala local ou regional), sendo casos de espécies endêmicas, só existem ali por estar adaptada a este ambiente. Foi através destas observações e da tentativa de se compreender estes padrões de distribuição, ou seja, a relação da biota com o ambiente que a envolve que surgiu a biogeografia.

Podemos ter duas vertentes na biogeografia. Uma relacionada à distribuição da flora, chamada de fitogeografia, restrita em compreender a distribuição das diversas formações vegetais (florestais, arbustivas e herbáceas), com metodologias próprias, como levantamentos fitossociológicos (estudo florístico dos indivíduos e suas interações em determinados ambientes). A outra vertente diz respeito à zoogeografia, relacionada sobre a distribuição dos animais. Estas relações irão depender do meio físico com o biológico, amparada por ciências afins, como a biologia (ecologia, ecossistemas, botânica, herpetologia), a geologia (dinâmica interna do planeta como a tectônica de placas litosféricas, litologia, paleontologia), a climatologia (variáveis climáticas,

paleoclimas); geografia (análise espacial, geoestatística, cartografia, geomorfologia, fisiografia).

São vários os estudos que deram início ao surgimento da biogeografia, principalmente ao longo do século XIX. Dentre estes, um dos destaques são as observações do naturalista Alfred Russel Wallace, que em viagem a Indonésia em 1854, identificou uma nítida diferença da distribuição de espécies no arquipélago malaio, onde na porção noroeste haviam espécies mais semelhantes com as da Ásia (Sumatra e Java), e na porção sul/sudeste as espécies possuíam maior semelhança com a Austrália (Nova Guiné). Estas análises foram publicadas por Wallace, na obra intitulada “A distribuição geográfica dos animais” em 1876, a qual teve um viés geográfico ao perceber a distribuição espacial das espécies e relacioná-las com o ambiente, propondo uma geografia da distribuição das espécies.

Entre 1848 a 1852, Wallace e Henry Bates estiveram na Amazônia com a intenção de coletar espécimes para vender a colecionadores. Nestas viagens juntaram evidências impulsionando a consolidação da biogeografia, por exemplo, a ideia de separação geográfica isolando espécies de macacos nos rios Amazonas, Negro e Madeira, discutido nas publicações “Sobre macacos da Amazônia” em 1852, e “Narração das viagens nos rios Amazonas e Negro” de 1853, relatando sobre indígenas, barreiras geográficas, endemismos, clima e pedologia, fatores os quais possibilitam ambientes particulares e únicos na natureza.

Existem dois mecanismos principais que podem determinar a evolução das espécies, estes são: a variabilidade genética e a seleção natural. No entanto, este esquema necessita ser complementado com outro fator determinante que é a especiação geográfica. A distribuição dos animais terrestres é correlacionada com as grandes formações vegetais e a temperatura. Porém, estes dois fatores dependem das características topográficas, seja em escala regional ou continental, em que biólogos e geógrafos têm trabalhado em conjunto de forma interdisciplinar, no intuito de gerar melhores conhecimentos à fitogeografia, zoogeografia e às questões paleoclimáticas.

Uma importante contribuição à biogeografia foi dada por Alfred Wegener, meteorologista e geofísico alemão, que propôs em 1912, em um encontro da União Geológica, a hipótese de que os continentes formavam uma única massa continental, e que posteriormente foi separando-se formando outros grandes continentes como o Gondwana e Atlantis/Laurásia, hipótese reprimida na época pela ampla sociedade geológica. Wegener construiu sua teoria com base em diversas observações que já



havia sido feitas por geólogos, geofísicos, naturalistas e cartógrafos do século XIX, os quais já apresentavam indicativos de semelhanças dos contornos dos continentes e também na similaridade entre fósseis de animais e plantas encontrados em diferentes continentes (exemplo o *mesossauros*).

Porém, Wegener teve um avanço através de estudos na Groenlândia, dando impulso na hipótese da deriva continental, onde observou através de marcos geodésicos que estava havendo um deslocamento entre estes em diferentes locais da Groenlândia. Suas observações iniciaram em 1905 e perduraram até meados de 1930, quando faleceu em um acidente de campo na Groenlândia. Esta hipótese foi comprovada somente na década de 60, quando registros submarinos coletaram dados mais precisos do assoalho oceânico, fortalecendo a teoria da tectônica de placas, ou seja, dinâmica/movimento de placas litosféricas.

É importante salientar que o termo tectônica de placas também é comumente dito como “placas tectônicas”, porém, de forma equivocada, por erro de tradução do termo em inglês *plate tectonic*. A coerência está na tradução da terminologia grega “tectônica”, significando movimento, sendo correto a tradução no português tectônica (movimento) de placas.

A relação entre a geologia e biogeografia foi um grande avanço, acarretando mudanças de paradigmas e fortalecendo novas teorias. Por exemplo, a hipótese da vicariância teve um grande salto na aceitação da deriva continental (tectônica de placas), responsável por separar populações as quais se isolariam geograficamente (barreira geográfica).

Após mudanças de paradigmas, o que é natural nas ciências e a fortalece, podemos tecer outras relações. Por exemplo, existe uma estreita associação entre a geomorfologia e a ciência biológica, principalmente em estudos ambientais e particularmente com a biogeografia. Esta interação integrando a geomorfologia com o campo da biogeografia (biogeomorfologia) permite caracterizarmos os habitats, correlacionando o tipo de ambiente com as espécies que ali estão distribuídas, permitindo um enfoque morfológico e evolutivo da paisagem (morfogênese da paisagem).

O geógrafo brasileiro Aziz Nacib Ab’Sáber propôs em 1967 um dos modelos mais completos para caracterizar as paisagens brasileiras, contribuindo com estudos evolutivos da paisagem e biogeográficos. Ab’Sáber percebeu a importância de correlacionar parâmetros do relevo, clima, solos, vegetação e hidrografia para

estabelecer o modelo denominado de domínios morfoclimáticos, estabelecendo características particulares para os grandes domínios geomorfológicos-vegetacionais de escala sub-continental no Brasil, por exemplo o domínio morfoclimático amazônico o qual Roraima está inserido.

Os primeiros a integrarem os conceitos de biogeografia com o modelo dos domínios morfoclimáticos foram os herpetólogos Paulo Emílio Vanzolini e Ernst Williams, em 1970. A problemática era um estudo da distribuição geográfica de lagartos *Anolis*, caso de espécies simpátricas em áreas amazônicas. Roraima foi uma das áreas que o modelo de domínios morfoclimáticos foi usado como critério para definição da região de amostragem geográfica. Vanzolini e Williams (1970) formularam o modelo de especiação de lagartos baseado na expansão e retração da floresta durante períodos secos e úmidos nos últimos 20.000 – 10.000 anos. Esta dinâmica criou barreiras e algumas espécies de *Anolis* isolaram-se, interrompendo o fluxo gênico entre populações, tornando-as espécies distintas. Estas barreiras que podem ser identificadas hoje por inferências através das características geomorfológicas, como as linhas de pedras (formadas em períodos mais secos), terraços, formações arenosas depositadas em paleocanais (paleoaluviões), conforme discutido por Carvalho, Carvalho e Morais (2016) para o lavrado (NE de Roraima).

Por outro lado, o geólogo Jürgen Haffer estudando aves na Amazônia na década de 60 chegou à mesma conclusão do modelo proposto por Vanzolini e Williams para lagartos. Este modelo tornou-se um clássico na biogeografia, conhecido como Modelo de Refúgio do Pleistoceno e Teoria do Refúgio (VANZOLINI; WILLIAMS, 1970).

Uma peculiaridade dos domínios morfoclimáticos são as paisagens de exceção, as quais têm importância geográfica e ecológica para a história evolutiva de certos ambientes, por exemplo, os enclaves (ou encraves) de cerrado dentro da caatinga na região de Mucugê (Bahia). Isso se deve provavelmente a ocorrência local de fatores de exceção de ordem climática, geomorfológica e paleobotânica, influenciados principalmente pelas oscilações climáticas do passado. Uma explicação é que durante períodos glaciais o ar ficou mais frio e seco, ocasionando uma retração de florestas; e durante os interglaciais o ar ficou mais úmido e as matas coalesceram. Estas oscilações da floresta deixam marcas na forma de vegetações relictuais (pretéritas ainda existentes), o mesmo exemplo serve para Roraima, podendo explicar a fitofisionomia do lavrado.

Uma das formas para perceber a presença de uma vegetação semiárida, ou vegetação campestre onde hoje possui floresta é através das linhas de pedra. Uma linha de pedra é o testemunho da superfície antiga, pode ser facilmente evidenciada nos taludes das estradas com marcas lineares de conglomerados e seixos. Sob um clima semiárido, a superfície possui grandes extensões pedregosas, formada por quartzo ou quartzitos irregulares, como hoje na caatinga e demais formações campestres, como no lavrado (NE de Roraima).

Dentre outros modelos para descrever formações vegetais destaca-se o modelo das províncias fitogeográficas, proposto pelo botânico Carlos de Toledo Rizzini na década de 1960, que também descreve as formações vegetais brasileiras com base em similaridades florísticas regionais. É um bom modelo, porém, muito compartimentado, unicamente a florística não deixa claro o contexto geral onde um ambiente em particular está geograficamente e ecologicamente inserido. Por exemplo, a mata de Mucugê estaria distribuída no cerrado ou na caatinga? Neste sentido, o modelo de Ab'Sáber é mais completo para definir ecossistemas, pois considera a sobreposição de fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, pedológicos e botânicos em escala subcontinental. Este é um exemplo claro do equívoco de classificar a região do lavrado em Roraima pertencente ao cerrado, ou simplesmente generalizando este como savana, negando seu contexto geográfico, ecológico e geomorfológico, são nomeclaturas que dão peculiaridades a um ambiente (domínio).

## **1.2 Aproximações da biogeomorfologia em Roraima**

Roraima possui peculiaridades paisagísticas as quais são indícios de diversos eventos que ocorreram, sendo facilmente percebidas pela dicotomia de áreas abertas e fechadas, em um ambiente cujo domínio é de floresta ombrófila mista. É uma região com características únicas geomorfológicas, com extensos sistemas agradacionais (cerca de 90mil km<sup>2</sup>) compostos por depósitos aluvionares em ambientes campestres alagados, rios meandriformes e extensas planícies fluviais no sul e nordeste do Estado, além de sistemas lacustres isolados e interconectados. Ocorrem também regiões formadas por sistemas denudacionais (cerca de 135mil km<sup>2</sup>) com sistemas serranos e morros, hidrografia encaixada, sem uma planície fluvial bem definida.

Um exemplo importante no viés biogeomorfológico é a região campestre do nordeste do Estado (lavrado), a qual é composta por uma complexa rede de pequenas

ilhas de mata, algumas de 0.3 ha, áreas com arbustos esparsos e herbáceas, e formações de buritizais lineares e agrupados. Buritizais (*Mauritia flexuosa*) lineares são formados ao longo dos igarapés que drenam uma extensa planície sedimentar, os quais são interconectados com os principais rios por uma mata de galeria arbórea e arbustiva. Outro tipo de formação de buritizal está associado à paleocanais (terraços) de alguns rios, como o Cauamé, Uraricoera e Branco, dispostos em agrupamentos (MORAIS; CARVALHO, 2015).

Estas peculiaridades possibilitam uma diversidade de ambientes (geodiversidade) como regiões de morros, serras, testemunhos, e blocos graníticos (matacões) esparsos de diferentes tamanhos. Do ponto de vista ecológico, estas unidades podem ser vistas como habitats e microhabitats para várias espécies do lavrado. Em escalas menores, como fraturas e juntas nestas rochas constituem um complexo de microhabitats, com água, areia e vegetação, que são ocupados por diferentes espécies.

É possível que a expansão e retração das formações florestais durante o Pleistoceno têm influenciado o fluxo gênico de muitas espécies, interrompendo definitivamente ou temporariamente suas conexões. Existem espécies com nichos de varias dimensões condicionadas ao ambiente, áreas abertas e fechadas. Uma questão importante é como as espécies de vertebrados terrestres no lavrado foram afetadas localmente pelos períodos secos e úmidos?

Reconhecer evidências dos pulsos da vegetação no lavrado, associados com a distribuição de espécies locais, certamente poderão elucidar varias questões. Este é o caso de três espécies simpátricas de lagartos nas áreas abertas de Roraima: *leucomystax* associado com cupinzeiros, *vanzoi* no contato de floresta e áreas abertas, e *underwoodii* em floresta contínua, especies identificadas por Vanzolini e Carvalho (1991). Estas três espécies citadas são estreitamente relacionadas, sendo difícil o reconhecimento imediato, cabendo a geomorfologia explicar quantos eventos ocorreram para a especiação destes lagartos, conforme discutido em Carvalho; Carvalho e Morais (2016).

### **1.3 Florística e áreas úmidas como importância na classificação hidrogeológica de ambientes fluviais**

Um outro foco importante para a compreensão da dinâmica de determinados ambientes e como classificá-los, é estabelecer uma relação da distribuição da fauna e

flora com a dinâmica hidrológica (lacustre e fluvial), o que implica também em compreender suas características geomorfológicas. Este enfoque quando dado, pode ser através da terminologia “áreas úmidas”, cujo viés é ecológico, contribuindo para uma classificação hidrogeoecológica.

As áreas úmidas da Amazônia são mantidas pela precipitação, pelo sistema fluvial ou por ambos. São áreas dependentes do clima, da topografia e do sistema de drenagem. Podem ser observadas duas fases nestas áreas, uma terrestre e outra aquática. Dentre estes ambientes amazônicos úmidos encontram-se as várzeas, os igapós, as campinaranas e os buritizais.

As distribuições das espécies de plantas nestes ambientes e as fisionomias da vegetação destas áreas são influenciadas por diversos fatores, como a duração das fases terrestres e aquáticas, a estabilidade do ambiente influenciado pela sedimentação/erosão, correnteza e ação de ondas fluviais, processos sucessionais da vegetação relacionados com a idade do ambiente, além da forte influência dos impactos humanos (JUNK; PIEDADE 1997).

Na Amazônia as áreas úmidas abrangem cerca de 600.000 km<sup>2</sup> ao longo da bacia hidrográfica do Amazonas. As florestas periodicamente inundadas são formadas por águas brancas, claras e pretas, onde se desenvolvem a vegetação da várzea e igapó. A várzea abrange cerca de 400.000 km<sup>2</sup>, e os igapós cerca de 200.000 km<sup>2</sup> (MELACK; HESS, 2010). As florestas nas áreas de várzeas e de igapós têm características estruturais e florísticas próprias, resultante das diferenças geomorfológicas, hidrológicas e evolutivas, mas principalmente das diferenças nutricionais e químicas.

Conforme Junk e Piedade (1997) as áreas úmidas do ponto de vista ecológico funcionam como fontes primárias para as cadeias tróficas e mantêm a diversidade de peixes, interferem na ciclagem de nutrientes entre os sistemas aquáticos e terrestres, bem como influenciam no ritmo de crescimento da vegetação. São também fontes importantes de metano e atuam nos processos de sequestro de carbono, também oferecem refúgios permanentes ou temporários para a fauna de vertebrados terrestres e invertebrados associados a estes ambientes. Do ponto de vista socioeconômico e climático estas áreas são importantes para as atividades agrícolas, pesca e extração madeireira (JUNK; PIEDADE, 1997).

Com relação à várzea, são ambientes ricos em nutrientes provenientes dos sedimentos transportados em suspensão por rios de água branca da região andina e pré-andina. Estes nutrientes quando depositados ao logo das margens formam o solo

aluvionar mais rico da Amazônia (JUNK; PIEDADE, 1997). São sedimentos depositados ao longo da planície de inundação formados por argilo-minerais, os quais têm capacidade de reter nutrientes. A várzea possui uma complexa dinâmica morfológica do canal, caracterizando-se como ambiente instável devido às condições geológicas e geomorfológicas. Ambientes próximos às margens dos rios que formam as várzeas podem apresentar taxas de deposição de sedimentos de mais de um metro por ano, e interferem também nos processos erosivos, erodindo grandes áreas de terras com vegetação (terras caídas) durante o período de cheias (WITTMANN et al., 2013). Com base na dinâmica de sedimentação e na variação da composição florística no gradiente topográfico, Wittmann et al. (2013) categorizaram a vegetação da várzea em: i) várzea baixa com diversos estágios sucessionais, ii) várzea alta com estágios sucessionais mais tardios, e iii) chavascal.

As florestas das planícies de inundação amazônicas apresentam menor riqueza de espécies vegetais em relação às áreas não inundadas de terra firme da mesma região (WITTMANN et al., 2013). A riqueza de espécies arbóreas na terra firme, com diâmetro à altura do peito (DAP) acima de 10 cm, varia entre 117-300 espécies por hectare, cuja riqueza aumenta de leste para oeste ao longo da bacia hidrográfica do Amazonas (WORBES, 1997; WITTMANN et al., 2006). Na várzea a riqueza de espécies arbóreas com DAP > 10 cm varia entre 84-157 por hectare, cuja riqueza também aumenta de leste para oeste ao longo do sistema Solimões-Amazonas (WITTMANN et al., 2013).

Esta diferença na riqueza de espécies entre a terra firme e as áreas sazonalmente alagáveis ocorre devido a fatores estressantes, como por exemplo, a altura e a duração da inundação. Isto diminui a radiação solar e gera ambientes hipóxicos. Estes fatores se somam à dinâmica morfológica do canal do rio e no conjunto afetam diretamente a estrutura, diversidade e composição florística da vegetação das áreas úmidas amazônicas (WORBES, 1997; WITTMANN et al., 2013).

Durante a fase de inundação ocorrem eventos fisiológicos nas plantas, tais como: redução na respiração das raízes e na captação de nutrientes, o que afeta diretamente o ritmo de crescimento das plantas (metabolismo reduzido), perda ou troca de folhas em muitas espécies, redução da fotossíntese e formação de anéis de crescimento - quanto maior o tempo de submersão, maior é a largura dos anéis (WORBES, 1997). Algumas espécies arbóreas da várzea produzem mais biomassa no sistema radicular durante a fase aquática, aumentando o número de raízes acima e

abaixo do solo, conforme os padrões do gradiente de inundação. As adaptações no sistema radicular podem ser evidenciadas através das lenticelas e raízes adventícias (WITTMANN et al., 2013).

A altura e duração da inundação também podem afetar a riqueza de espécies e a distribuição geográfica de plantas de áreas úmidas. Se considerarmos variações nas plantas na ocupação do espaço em gradientes topográficos, é possível observar que as plantas tendem a colonizar os ambientes de acordo com os diferentes níveis da coluna d'água. Por exemplo, existem plantas que parecem preferir as áreas mais baixas do relevo (chavascal, por exemplo) e apresentam maior resistência à duração da inundação, mas existem aquelas espécies de plantas que têm ampla distribuição ao longo do gradiente de inundação (WORBES, 1997; JUNK, et al., 1989; WITTMANN et al., 2013). Em geral a riqueza de espécies de plantas é maior nas áreas onde são mais baixas a dinâmica de sedimentação, a erosão, a altura e a duração da inundação. Wittmann et al., (2013) relatam que na floresta alta de várzea a duração da inundação é menos do que 140 dias e a altura da inundação é menor que 3 metros. Nestas áreas é maior a riqueza de espécies de plantas, comparecendo 80% do total de espécies, sendo que mais da metade destas ocorrem em áreas onde a inundação é menor do que 1 metro – são espécies originadas da terra firme, pouco adaptadas à inundação e por isso ocorrem nas cotas mais elevadas (WITTMANN et al., 2013).

Na várzea baixa, a vegetação permanece alagada cerca de 140 a 230 dias; nestas áreas a altura de inundação alcança 3 a 6 metros. No chavascal as espécies de plantas que ali ocorrem estão mais bem adaptadas, distribuídas nas depressões da várzea baixa em ambientes permanentemente alagados. Nestes ambientes há relativa estabilidade geomorfológica, alta concentração de argila (excede 80%) e baixa riqueza de espécies (WITTMANN et al., 2013).

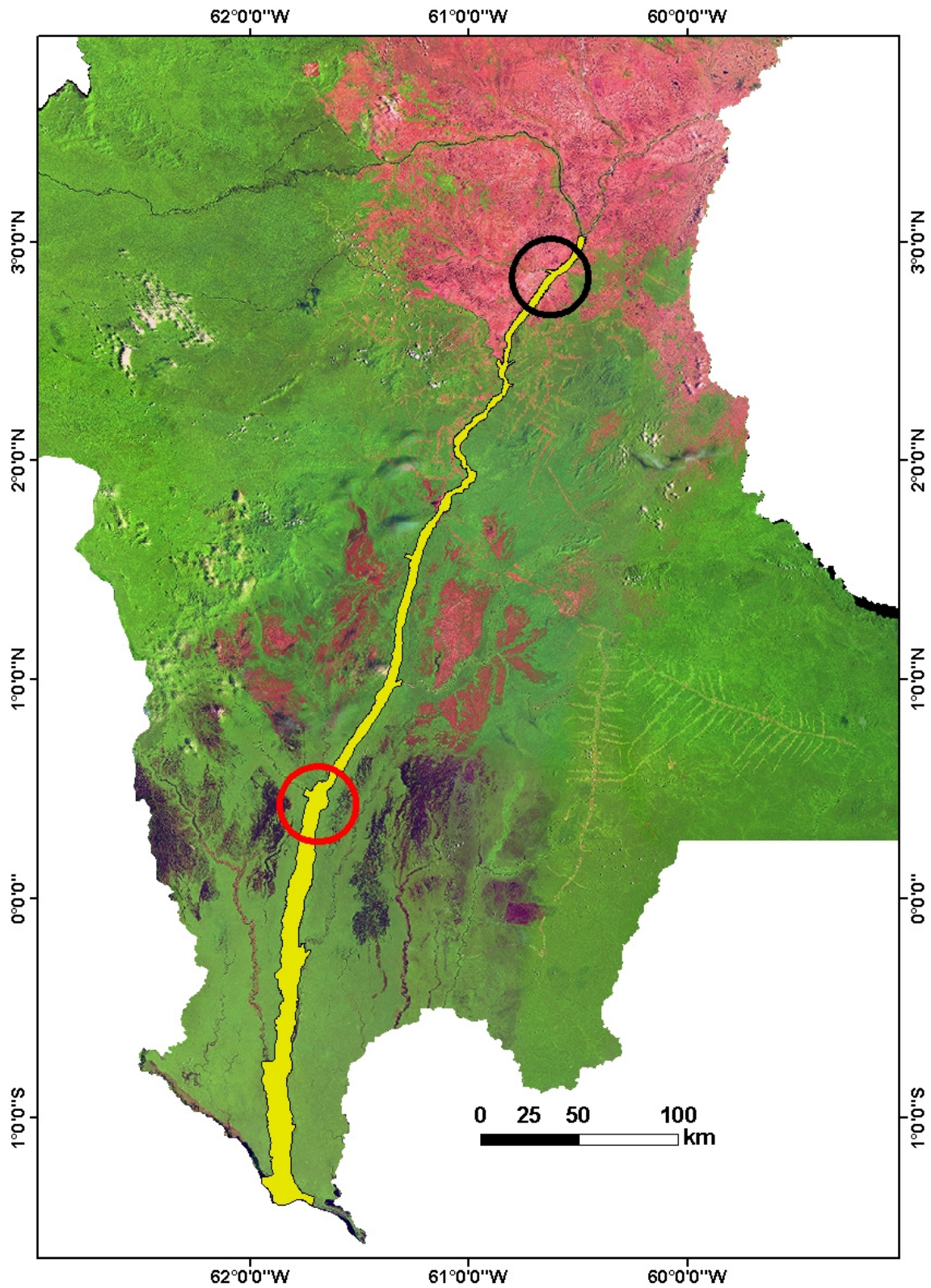
Ao contrário da várzea, rica em nutrientes, o igapó (águas clara e preta) é formado por sedimentos com baixos teores de nutrientes, consequentemente baixo potencial de produtividade. Os sedimentos do igapó são provenientes de terrenos cristalinos, bastante lixiviados, constituídos principalmente por argilo-minerais com baixa capacidade de retenção de nutrientes. São ambientes estáveis com relação a dinâmica geomorfológica fluvial, proporcionando menor variabilidade morfogenética da planície fluvial, acarretando por exemplo, em ambientes com menor potencial a diversidade florística.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados inventários florísticos em indivíduos com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou maior de 10 cm, em um total de 6 parcelas. As parcelas possuem 1 ha (50x200 metros), distribuídas da seguinte forma: três parcelas de 1 ha no alto rio Branco, nas proximidades da cidade de Boa Vista; e três parcelas de 1 ha no baixo rio Branco, nas proximidades dos rios Água Boa do Univini e Catrimani (Figura 1).



Figura 1 – Imagem Landsat representando as áreas de coleta na planície fluvial do rio Branco, Estado de Roraima.



Fonte: Elaboração própria. Legenda: Círculo vermelho representa região onde foram amostradas três parcelas (3 ha), região de floresta ombrófila densa e áreas abertas periodicamente inundadas; Círculo

preto região onde foram amostradas 3 parcelas (3 ha), trecho do alto rio Branco (lavrado).

Os parâmetros fitossociológicos foram determinados de acordo com Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), conforme abaixo:

i) Densidade absoluta (D): relação do número total de indivíduos de cada espécie (n), pela área da parcela amostrada. Determina a quantidade de indivíduos por unidade de área.

Cálculo: [  $D = n/\text{área}$  ]

ii) Densidade relativa (DR): relação entre o número de indivíduos de cada espécie (n), dividido pelo número total de indivíduos de todas as espécies (N).

Cálculo: [  $DR = (n/N) \cdot 100$  ]

iii) Frequência absoluta (FA): relação do número de parcelas que contêm determinada espécie (Pn), pelo número total de parcelas amostradas (P). Determina a distribuição das espécies em uma determinada área amostral, expresso em porcentagem. Cálculo: [  $FA = (Pn/P) \cdot 100$  ]

iv) Frequência relativa (FR): relação entre a frequência absoluta de uma determinada espécie (FAn), pela somatória das frequências absolutas de todas as espécies (FAt), expresso em porcentagem. Cálculo: [  $FR = (FAn/FAt) \cdot 100$  ]

v) Dominância absoluta (DoA): refere-se a área basal de uma determinada espécie (n) sobre uma determinada área. Cálculo: [  $DoA = (\pi / 4 \cdot DAP^2) / \text{área}$  ]. DAP = diâmetro à altura do peito.

vi) Dominância relativa (DoR): relação entre a área basal total de uma espécie (ABn), pela área basal de todas as espécies (ABt), expresso em porcentagem.

Cálculo: [  $DoR = (ABn/ABt) \cdot 100$  ]

O Índice de valor de importância (IVI) foi determinado de acordo com Curtis e McIntosh (1951): obtido através do somatório da frequência relativa (FR), densidade relativa (DR) e dominância relativa (DoR): Cálculo: [  $IVI = FR + DR + DoR$  ].

A identificação de espécies indicadoras comuns entre os habitats é importante para determinar as características do meio em que estão adaptadas. Uma forma de determinar espécies indicadoras é pela ausência e presença, através do teste estatístico de Cochran que verifica homogeneidade de ocorrências, conforme Zar (1994), e através do índice de Valor de Importância (IVI).

O índice de Cochran nos permite testar várias amostras relacionadas, nas quais os indivíduos são observados em vários grupos. Os valores são mensurados dicotomizados: 1 (presença) 0 (ausência). Monta-se o resultado das distribuições das espécies mas representativas, conforme o IVI, em que se verifica se a espécie é de várzea (registra-se 1, presente na várzea), ou ausência coloca-se 0, o mesmo para as espécies representativas de igapó. O teste verifica se a distribuições entre 0 e 1 é homogênea ou não.

Para verificar as relações de correspondência entre a vegetação das áreas estudadas com as várzeas e igapós de outras áreas amazônicas foi necessário comparar os dados coletados no rio Branco com os já existentes dos rios Solimões (várzea) e Negro (igapó), através de inventários florísticos já publicados na literatura conforme levantamento realizado por Wittmann et al. (2006) para rios da Amazônia.

### **3 FLORÍSTICA DA PLANÍCIE FLUVIAL DO RIO BRANCO E SUA CONTRIBUIÇÃO PRELIMINAR À CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOECOLÓGICA**

Em Roraima as planícies fluviais bem desenvolvidas abrangem cerca de 17.500 km<sup>2</sup> de área úmida, o rio Branco sendo o principal com 3.400 km<sup>2</sup> de planície fluvial. Outros ambientes, como os sistemas lacustres não fluviais, formam um sistema hidrogeológico interconectado por campos e veredas (buritizais lineares), com aproximados 11.000 km<sup>2</sup>. Estas áreas úmidas em Roraima, levando em consideração somente rios com planícies fluviais desenvolvidas, campos com sistemas lacustres, e áreas de influência de buritizais possuem cerca 36.000 km<sup>2</sup>.

De forma abrangente, dois grandes sistemas inter-relacionados são identificados nesta região: áreas úmidas florestadas, drenadas por sistemas fluviais e lacustres, com vegetação de porte arbóreo denso (vegetação aluvial nas planícies fluviais) e áreas úmidas abertas, com vegetação esparsa, predominantemente arbustiva-herbácea com palmáceas, predomínio da *Mauritia flexuosa*, formando veredas (canais de primeira e segunda ordem), drenada por igarapés e lagos perenes/sazonais, os quais fluem por uma extensa planície de aplainamento sedimentar (lavrado) abrangendo aproximados 43 mil km<sup>2</sup>. Estas características são conforme estudos de Morais e Carvalho (2015) e Carvalho, Carvalho e Morais (2016), relacionados à classificação da paisagem e hidrogeomorfologia de Roraima, com contribuições à biogeografia regional.

Em termos gerais, a estação chuvosa no Estado de Roraima inicia-se entre Abril-Maio e estende-se até Agosto-Setembro. Neste período, o rio Branco sobe aproximadamente entre ~6 a 8 metros na cidade de Caracaraí (trecho divisor entre o alto e médio rio Branco); e ~8 a 12 metros em Santa Maria do Boiaçú, com vazões variando entre ~8.000 a 13.000 m<sup>3</sup>/s (trecho final do baixo rio Branco).

No período de vazante na cidade de Caracaraí, a vazão média é cerca de 1.500 m<sup>3</sup>/s. Com relação ao transporte de sedimentos, em média o rio Branco transporta aproximadamente 45 mg/l de sedimentos em suspensão, com mínimos na vazante com cerca de 10 a 20 mg/l e picos na cheia de 70 a 80 mg/l, caracterizando este rio não somente como de água branca típico, mas um padrão misto de água clara e branca. Com relação ao pulso de inundação, este ocorre uma vez ao ano (monomodal), em que as águas acima de 5 metros permanecem cerca de 82 dias, sendo a referência a régua de Caracaraí, trecho limítrofe entre o alto e médio rio Branco (SANDER; CARVALHO; GASPARETTO, 2013).

Porém, a classificação de várzea ou igapó deve ter maior embasamento, por exemplo, uma abordagem pelo viés da florística, conforme estudos em andamento no Lab. de Métricas da Paisagem (Dep. de Geografia/UFRR).

Em relação à dinâmica fluvial, os ambientes de várzea, constituídos por depósitos aluvionares, possuem complexa dinâmica morfológica do canal, caracterizando-se como ambiente instável devido às condições geológicas e geomorfológicas, sendo rios compostos principalmente por sedimentos do Quaternário. Os ambientes próximos às margens dos rios que formam as várzeas, podem apresentar elevadas taxas de deposição e de processos erosivos, o que influencia diretamente nas formações vegetacionais (diversidade florística). Um exemplo é o caso do complexo do Surrão-Praia Grande discutido em Sander; Carvalho e Gasparetto (2013), como sendo uma das regiões mais dinâmicas em termos de deposição do rio Branco.

Com relação à classificação hidrogeológica, através de levantamentos da florística aluvial da planície do alto e baixo Branco, indica que a vegetação é tipicamente de várzea, com algumas espécies de igapó provenientes dos rios de água clara, os quais fluem do sistema Parima-Pacaraima. Este sistema pode ser classificado como uma zona de erosão recuante, pertencente ao Escudo Cristalino das Guianas. Trata-se de uma região da qual nascem maioria dos afluentes do alto rio Branco, formada por um sistema serrano de forte controle estrutural, sendo o divisor de águas da bacia hidrográfica do Amazonas e rio Orinoco.

Na região do médio e baixo rio Branco ocorre predomínio de rios de água preta, que drenam as campinaranas, formando ao longo das planícies fluviais uma vegetação de igapó, a qual se conecta em alguns trechos com a planície fluvial do rio Branco, por exemplo, na foz do Água Boa do Univini e ao longo do baixo rio Xeruiuni.

As análises mais detalhadas têm mostrado que ocorre intercâmbio entre tipologias vegetacionais de igapó e várzea no rio Branco. De forma geral, trata-se de um sistema com maiores taxas de nutrientes que o igapó, os quais são provenientes dos sedimentos transportados em suspensão. Estes nutrientes quando depositados ao longo das margens, devido o rio dissipar sua energia nas cheias (pulsos de inundação), formam um solo aluvionar mais rico em nutrientes, os quais são reciclados anualmente pelo ciclo monomodal do rio Branco. No entanto, em certos trechos como o alto Branco ocorre uma mescla de água clara e branca mais significativa que no baixo, sendo um sistema de águas mistas (igapó-várzea), empobrecido de nutrientes em relação aos rios de água branca tradicionais, por se tratar de uma região proveniente do escudo das Guianas, relevo cristalino, com predominância de rios de água clara.

Este comportamento híbrido, com uma mescla de igapó se deve aos rios de água clara, os quais fluem do sistema Escudo das Guianas (cristalino), fonte da maioria dos afluentes do alto rio Branco, além dos sistemas de água preta, que drenam das campinaranas do sul de Roraima, e fluem para o baixo rio Branco. O desenvolvimento da vegetação aluvial entre o alto e baixo rio Branco são significativamente diferenciadas, tanto no desenvolvimento da planície fluvial quanto nos aspectos morfológicos, com maior desenvolvimento de sistemas lacustres e ilhas no baixo Branco, proporcionando ambientes diferenciados, influenciando em uma composição florística mais diversificada.

Foram identificados 2.331 (Tabela 1) indivíduos entre o alto e baixo Branco. Estas análises em andamento são com base na fitossociologia, ramo da ecologia cujo objetivo é estudar o comportamento de distribuição, importância e dinâmica da vegetação. Para o levantamento de campo foram registrados somente os indivíduos com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou maior que 10 cm, em um total de 6 parcelas de 1 ha (50x200 metros), distribuídas em três parcelas de 1 ha no baixo rio Branco (região do Catrimani e Boiaçu) e três parcelas de 1 ha no alto rio Branco, nas proximidades da cidade Boa Vista e Serra Grande.

Tabela 1 – Parâmetros fitossociológicos dos indivíduos por parcelas. Alto (A) e baixo (B) rio Branco.

Amostras	Total	Densi. Absoluta	Dens. Relat.	Domin. Absoluta	Altura Mínima	Altura Máx.	Altura Média	Diam. Médio
1A	332	332.0	14.24	17.43	4.00	25.00	14.04	22.90
2A	328	328.0	14.07	12.75	4.00	28.00	15.43	20.42
3A	284	284.0	12.18	17.31	5.00	26.00	16.44	23.81
1B	454	454.0	19.48	39.11	2.00	21.00	11.70	28.27
2B	444	444.0	19.05	25.28	2.50	17.00	10.46	23.16
3B	489	489.0	20.98	31.19	2.00	24.00	11.07	24.93

Fonte: Elaboração própria

Análises preliminares indicam uma densidade média de 388 ind./ha (indivíduos por hectare), sendo que destes 944 foram registrados no alto Branco, com densidade média de 314 ind./ha. No baixo Branco foram registrados 1387 indivíduos, com uma densidade média de 462 ind./ha. Com relação às espécies identificadas, o baixo rio Branco possui 101 espécies e o alto com 57 espécies, evidenciando que o baixo Branco tem maior diversidade florística que o alto Branco. As espécies mais representativas (índice de valor de importância-IVI) do alto rio Branco são *Spondias monbin* (igapó); *Cochlospermum orinocense* (igapó); *Gustavia augusta* (várzea); *Brosimum guianensis* (igapó); *Triplaris surinamensis* (várzea), amostradas entre Boa Vista e a Serra Grande. No baixo rio Branco destacam-se *Pentaclethra macroloba* (igapó); *Virola surinamensis* (várzea); *Spondias Mombin* (igapó), *Pseudomedia laevigata* (várzea), *Euterpe precatoria* (várzea/igapó); *Astrocaryum murumuru* (várzea), amostradas entre Santa Maria do Boiaçu e confluência dos rios Catrimani e Água Boa do Univini.

Com base nas listas de espécies identificadas em inventários florísticos de várzea e igapó na literatura, observou-se que as espécies com maiores valores de índice de importância, 55% estão relacionadas à ambiente de várzea; e 20% à ambiente de igapó. Usando o teste Q de Cochran ( $Q= 0,1301$ ;  $p>0.05$ ) mostrou que as quarenta espécies mais representativas nas áreas amostrais estão representadas por espécies de várzea e igapó homogeneamente. Esta análise permite classificar este ambiente, do ponto de vista fitoecológico, como rio de águas mistas, clara e branca. Para estes mesmos dados, a análise de similaridade entre ambiente de várzea e de igapó, foi de 0,39 (Sorensen) e 0,24 (Jaccard).

Com relação a similaridade florística entre as áreas amostrais, às do alto Branco são mais similares entre si que em relação as parcelas do baixo Branco. A

explicação que pode ser dada é que no baixo Branco existem trechos com maior diversidade de morfologias na planície (maior dinâmica hidrogeomorfológica), proporcionando ambientes diversificados, com predomínio de igapó e/ou várzea, por exemplo no trecho da foz do rio Água Boa do Univini (rio de água preta, igapó).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Uma breve inspeção sobre a ocorrência destas espécies em ambientes de lavrado e áreas de mata ao sul de Roraima nos permite observar que apenas *S. mombin* é comum às duas áreas, indicando variação significativa na riqueza de espécies entre os dois ecossistemas, pelo menos as espécies mais comuns. Interessante notar também que as espécies das áreas de mata do baixo rio Branco, pelo menos as mais representativas (valor de importância) guardam mais relações com o levantamento que Miranda (2000) fez em Pimenta Bueno, Rondônia. Aqui vale lembrar que o lavrado de Roraima faz parte do Escudo da Guiana (Hoogmoed, 1979) e a região de Santa Maria de Boiaçu, área de mata, já faz parte das áreas de mata amazônica (Ab'Sáber, 1967) – é claro que esta condição estabelece diferentes ecossistemas e diferentes composições florísticas.

Com relação a similaridade florística entre os dois ambientes que foram estudados, às áreas de lavrado são mais similares entre si do que em relação às do baixo Branco, áreas fechadas. Dentre as várias explicações para este fato, nós podemos destacar que a maior dinâmica hidrogeomorfológica pode determinar morfologias na planície mais diversas, com áreas alagadas diferentes das que ocorrem no lavrado, onde predomina a várzea. No baixo rio Branco, nas áreas de mata, ocorrem tipos de alagamentos semelhantes a igapós, por exemplo, nas áreas de influência dos igarapés Itapará e Itaparazinho. Além disso, a região é muita próxima do rio Negro, o que influencia sobremaneira a composição dos ecossistemas associados a estas áreas fechadas de Santa Maria do Boiaçu a que estamos nos referindo.

Os dados analisados até o momento mostram o quão são variados os ambientes fisiográficos (morfologia do relevo e respectivas associações) e fitofisionômicos (tipologias vegetacionais) de Roraima, em particular a região da planície fluvial do rio Branco. Também é importante salientar a interação e interdependência de determinadas ciências, como a interação entre a Geografia e Biologia, e suas respectivas ramificações (especialidades).

Neste sentido, são necessárias pesquisas para uma classificação, valorização, e conservação dos ambientes de áreas úmidas. Por exemplo, como classificar com viés hidrogeomorfológico/geoecológico a planície fluvial do rio Branco? E os buritizais de Roraima e suas respectivas interconexões com os sistemas lacustres não-fluviais?

Existem diversas questões para serem respondidas, as quais possuem uma relevância para a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica e fitogeográfica dos ambientes citados.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais Quaternários. **Orientação**, n.3, p.1-19, 1977.

CARVALHO, T.M.; MORAIS, R.P. Aspectos hidrogeomorfológicos do sistema fluvial do baixo rio Uraricoera e alto rio Branco como subsídio à gestão de terras. **Geografias**, v.10, n.2, p.118-135, 2014.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M.; MORAIS, R.P. Fisiografia da paisagem e aspectos biogeomorfológicos do lavrado, Roraima, Brasil. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.1, 2016.

DEMARCHI, LAYON ORESTE ; SCUDELLER, VERIDIANA VIZONI ; MOURA, LIVIA CARVALHO ; DIAS-TERCEIRO, RANDOLPHO GONÇALVES ; LOPES, ALINE ; WITTMANN, FLORIAN KARL ; PIEDADE, MARIA TERESA FERNANDEZ . Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in the three white-sand soil patches in central Amazonia. **Acta Amazonica** , v. 48, p. 46-56, 2018.

MELACK JM, HESS LL. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: **Amazon Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management** (Eds. Junk WJ, Piedade MTF, Wittmann F, Schöngart J, Parolin, P.). Ecological Studies 210, Springer Verlag: Berlin/Heidelberg/New York; 43–59, 2010.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T.M. Aspectos dinâmicos da paisagem do lavrado, nordeste de Roraima. **Revista Geociências**, v. 34, n.1, p. 55-68, 2015.

JUNK, W,J,; PIEDADE, M,T. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants, in: **The Central Amazon Floodplain** (Ed. Junk, W,J.), Springer-Verlag, New York 126: 147-185, 1997.

WITTMANN F, HOUSEHOLDER E, PIEDADE MTF, ASSIS RL, SCHÖNGART J, PAROLIN P, JUNK WJ. 2013. Habitat specificity, endemism and the neotropical



distribution of Amazonian white water floodplain trees. **Ecography**, n.36, p.690–707, 2013.

WITTMANN, F., SCHÖNGART, J., MONTERO, J.C., MOTZER, T., JUNK, W.J., PIEDADE, M.T.F., QUEIROZ, H.L., WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography* 33, 1334–1347, 2006.

SANDER, C. ; CARVALHO, T.M. ; GASPARETTO, N. 2013. Breve síntese da dinâmica fluvial do rio Branco, nas adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, p. 60-69, 2013.

VANZOLINI, P.E.; CARVALHO, C.M. Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brasil Sauria:Teiidae. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.37, p.173-226, 1991.

VANZOLINI, P.E.; WILLIAMS, E.E. South American anoles: the geographic differentiation and evolution of the *Anolis chrisolepis* species group Sauria, Iguanidae. **Arquivos de Zoologia**, v.19, p.1-298, 1970.

## 5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa gerou resultados que tem permitido a criação de um banco de dados das principais características fisiográficas da Amazônia Setentrional, com ênfase na bacia hidrográfica do rio Branco (Roraima, Brasil). São dados que possibilitam uma caracterização dos diferentes ambientes de Roraima com viés geográfico, geomorfológico, hidrológico e biogeográfico.

Em um primeiro levantamento, discutiu-se a relevante interação entre os aspectos conceituais sobre sistemas e sua relação com a Geomorfologia, dando enfoque aos ambientes agradacionais e denudacionais, como critérios aplicados na caracterização fisiográfica da paisagem. Em termos de ordenamento territorial, essa discussão é importante para caracterizar o Estado de Roraima em uma primeira aproximação, o qual abrange ~3% da Amazônia, apresentando variadas tipologias morfológicas do relevo e ecossistemas dentro do domínio morfoclimático da Amazônia.

Tendo como área de estudo a bacia do rio Branco, verificou-se que esta abrange desde relevos baixos, arrasados por intemperismo químico profundo (etchplanação), com planícies fluviais bem desenvolvidas, das quais destacam-se os principais rios com pelo menos 17.500 km<sup>2</sup> de área úmida, sendo o rio Branco o principal com 3.400 km<sup>2</sup> de planície fluvial. Também ocorrem formações de sistemas lacustres fluviais e desconexos destes, com áreas periodicamente alagáveis, no lavrado e nas campinaranas, por exemplo, no lavrado ocupam cerca de 832 km<sup>2</sup>, formando um sistema hidrogeológico interconectado por campos e veredas com 11.340 km<sup>2</sup> de extensão, constituindo morfologias típicas de sistemas agradacionais (deposicionais). Estes aspectos são de fundamental importância para se compreender a dinâmica hidrogeomorfológica, tanto no Estado de Roraima, assim como nos vários ambientes semelhantes da Amazônia Setentrional.

De maneira mais específica, a análise dos aspectos morfométricos das bacias dos rios Uraricoera e Tacutu (bacia do alto rio Branco) permitiu a identificação do sistema hidrográfico do Uraricoera como o principal do alto rio Branco, cuja drenagem abrange uma área de 49.630 km<sup>2</sup>, com perímetro de 2.388 km, e comprimento de 499.506 km. Por sua vez, a bacia do rio Tacutu possui a segunda maior drenagem abrangendo 42.528 km<sup>2</sup>, com perímetro de 1.895 km, comprimento de 255.726 km.

Portanto, os dados nos permitiram uma melhor compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica do sistema do alto rio Branco, que diferentemente das demais regiões amazônicas, nas quais os rios são alóctones na maioria, o sistema de drenagem em grande parte é autóctone. Estes rios fluem por diferentes unidades morfoestruturais de Roraima, sendo fundamental a caracterização, compartimentação e análise fisiográfica desses ambientes fluviais.

Uma região peculiar e importante para a dinâmica das áreas úmidas da bacia hidrográfica é a região do lavrado, cujo ambiente é formado por sistemas lacustres que se desenvolvem na planície de aplainamento da Formação Boa Vista, compondo lagos desconexos de planícies fluviais, e interconectados durante períodos chuvosos, os quais foram classificados em lagos de nascentes, isolados e conectados.

Outra discussão a qual permite uma melhor compreensão da dinâmica da planície fluvial do rio Branco é sua classificação de acordo com o viés fitogeográfico. Verificou-se que o rio Branco é um sistema fluvial que drena regiões formadas por florestas e áreas campestres, com rios de águas preta, clara e branca, tornando confuso uma classificação do ponto de vista ecológico e geomorfológico. Por este motivo, foi dado um exemplo da importância da interação da biogeografia com a geomorfologia, através de dados florísticos da vegetação da planície fluvial do rio Branco, como suporte na classificação geoecológica deste sistema fluvial.

Podemos generalizar o ambiente do rio Branco, como floresta de várzea, porém, fazendo uma ressalva, que este trecho ocorre intercâmbio entre tipologias vegetacionais de igapó e várzea. Entre o alto rio Branco e baixo a vegetação de igapó possui alta similaridade com as do rio Negro, o que nos levou a um engano classificá-lo puramente como rio de água branca.

Com base em amostragens fitossociológicas em alguns trechos do alto e baixo Branco, percebeu-se que a vegetação aluvial da planície do rio Branco possui espécies de várzea, com uma mescla de espécies de igapó provenientes dos rios de água clara, os quais fluem do sistema Escudo das Guianas (cristalino), grande maioria dos afluentes do alto rio Branco, e sistemas de água preta, que drenam das campinaranas do sul de Roraima, e fluem para baixo rio Branco.

Com base nas listas de espécies identificadas em inventários florísticos de várzea e igapó na literatura, observou-se que, das quarenta espécies com maiores valores de índice de importância identificadas neste estudo, 55% estão relacionadas a ambiente de várzea e 20% a ambiente de igapó. Usando o teste Q de Cochran foi Q=

0,1301;  $p > 0.05$ , mostrando que as quarenta espécies mais representativas nas áreas amostrais são por espécies de várzea e igapó homoganeamente. O que podemos classificar este ambiente, do ponto de vista fitoecológico, como rio de águas mistas, clara e branca.

Estes dados analisados até o momento irão fornecer subsídios para responder perguntas, por exemplo, como classificar com viés hidrogeomorfológico/geoecológico a planície fluvial do rio Branco? Como são as características morfológicas das áreas úmidas da bacia hidrográfica do rio Branco e respectivas unidades associadas? São perguntas às quais irão dar subsídios para uma caracterização hidrogeomorfológica do sistema fluvial do rio Branco, permitindo caracterizar os diferentes compartimentos geomorfológicos desta bacia, sendo esta, a etapa final pretendida neste estudo de doutoramento.

Em alguns casos, existem pesquisas que não possuem uma imediata aplicação, muitas vezes circulam apenas no meio acadêmico, contribuindo com conhecimentos básicos gerados pelo estudo, enriquecendo argumentos sobre conservação, biodiversidade e uso racional dos recursos naturais. Em outros casos, a pesquisa é direcionada para os meios oficiais dos tomadores de decisões, os quais vêm intensificando projetos e discussões que visam o planejamento regional para uma política ambiental coerente e eficiente. Por exemplo, relacionar características do meio físico/biótico para uso sustentável em ambientes fluviais, auxiliando na gestão racional dos recursos hídricos, conforme exemplo de Carvalho e Morais (2014) na caracterização do baixo rio Uraricoera e alto Branco, com enfoque na gestão de terras.

Estudos relacionados às temáticas exemplificadas nesta tese contribuem em gerar informações que, somadas a outras, fortalecem o entendimento que temos sobre os ecossistemas amazônicos, particularmente os sistemas que são periodicamente alagados, permitindo entender melhor o funcionamento destes ambientes. São estudos que dão subsídios à classificação e projeções futuras de possíveis cenários para políticas ambientais.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. – **Orientação**, v.3 p.45-48, 1967

AB'SABER, A.N. A formação Boa Vista: Significado geomorfológico e geoecológico no contexto do relevo de Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.J.G.; Castellón, E.G. (eds.), **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus, INPA. p. 267-293.. p.267-293, 1997.

AMSLER, M.L.; PRENDES, H.H. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados. In: **El Río Paraná em su trama médio, Contribucion al conocimiento y practicas ingenieriles em um gran rio de llanura, Tomo 1**. centro de publicaciones, UNL, Santa Fé, Argnetina. Cap.5. 247-253p, 2000.

BARBOSA, R.I. e MIRANDA, I.S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: Barbosa, R.I.; Xaud, H.A.M.; Costa e Souza, J.M. (Eds), **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**. Boa Vista, FEMACT. 202p, 2005.

BARBOSA, R.I., CAMPOS, C., PINTO., F., FEARNSIDE, P.M. The Lavrados of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas. **Functional Ecosystems and Communities**, v.1, n. 1, p.29-41, 2007.

BRIDGE, J. **Rivers and Floodplains**. Ed. Blackwell Science. 2003, 380p.

CAMENEN, B.; LARSON, M. A general formula for non-cohesive bed load sediment transport . **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 63. p.249-269, 2005.

CARVALHO, C.M. O lavrado da Serra da Lua em Roraima e perspectivas para estudos da herpetofauna na região. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.3,n.1, p.4-17 , 2009.

CARVALHO, M.T; LATRUBESSE, E.. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: o Caso da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.1, 85-93p, 2004.

CARVALHO, N.O. **Hidrosedimentologia Prática**. CPRM. Rio de Janeiro. 1994. 55-211p.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C.M. Sistemas de informações geográficas aplicadas à descrição de habitats. **Acta Scientiarum**, v. 34, p. 79-90, 2012b.

CARVALHO, T. M; CARVALHO, C.M; MORAIS, R.P. FISIOGRAFIA DA PAISAGEM E ASPECTOS BIOGEOMORFOLÓGICOS DO LAVRADO, RORAIMA, BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia** . , v.17, p.94 - 107, 2016.

CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, p. 35-41, 2008.

CARVALHO, T.M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas pp3-17. In: **Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Volume 2, Editora da Universidade Estadual do Amazonas, Manaus. 2009b.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Paisagens e Ecossistemas. In: Silveira, E.D.; Serguei, A.F.C. (Org.). **Socioambientalismo de fronteiras: relações homem-ambiente na Amazônia**. Ed. Juruá, Curitiba. p.43-68, 2015.

CATTANIO J.H., ANDERSON, A.B. ;CARVALHO, M.S. Floristic composition and topographic variation in a tidal floodplain forest in the Amazon Estuary. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, p.419–430, 2002.

DEMARCHI, LAYON ORESTE ; SCUDELLER, VERIDIANA VIZONI ; MOURA, LIVIA CARVALHO ; DIAS-TERCEIRO, RANDOLPHO GONÇALVES ; LOPES, ALINE ; WITTMANN, FLORIAN KARL ; PIEDADE, MARIA TERESA FERNANDEZ . Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in the three white-sand soil patches in central Amazonia. **Aca Amazônica** , v. 48, p. 46-56, 2018.

DIETRICH, W.E. Settling velocities of natural particles. **Water Resource, Res.** v.18. 1615-1626p, 1982.

DUCKE, A.; G.A. BLAKE. Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. - **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.19, p.1-46, 1953.

EGLER, W. A. Contribuição ao conhecimento dos campos da Amazônia. I – Os campos do Ariramba. - Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, v4, p.1-36, 1960.

FRANCO, E. M.S., DEL'ARCO, J.O., RIVETTI, M. Capítulo II Geomorfologia. Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: **RadamBrasil, Levantamento de Recursos Naturais**. DNPM, Projeto RadamBrasil, Rio de Janeiro, RJ. 137-180p, 1975.

JUNK, W.J., PIEDADE, M.T. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: **The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System** (Junk, W.J. Ed.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. p.147-181, 1997.

KELLER, E.A.; MELHORN, W.N. **Rhythmic spacing and origin of pools and riffles**. Geological Society of America Bulletin, v. 89. 723-730p, 1978.

KING, L.C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.1-147. 1956.

KNIGHTON, A.D. **Fluvial Forms and Processes: A new perspective**. Arnold, London. 1998, 320p.

LATRUBESSE E.M., STEVAUX, J. C.; SINHA. R. Grandes Sistemas Fluviais Tropicais: uma visão geral. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.6, n.1, 1-18, 2005.

LATRUBESSE, E.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia. Governo do Estado de Goiás e Distrito Federal**, Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração – 2 – Série Geologia e Mineração, 2006, 127p.

LATRUBESSE, E.M.; FRANZINELLI, E. The Late quaternary evolution of the Negro river, Amazon, Brazil: Implications for Islands and Floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v.70.p. 372-397, 2005.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M.G. **River channel pattern, braided, meandering and straight**. U.S. Geological Survey. 1957, 282p.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial process in Geomorphology**. San Francisco: H.W. Freeman. 1964, 201p.

LEOPOLD, L.B.; MADDOCK, T. Hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **US Geological Survey**. 1953, 252p.

LEWIN, J. Meander development and floodplain sedimentation: a case study from mid-Wales. **Geol.J.**, v.13, 25-36p, 1978.

MANGELSDORF, K.; SHEURMANN, M. River morphology – A guide for geoscientists and engineers. Berlin Heidelberg New York: Springer - Verlag –New York. 1990, 25p.

MAZUMDER, A. Sediment transport, aqueous bedform stability and morphodynamics under unidirectional current: a brief overview. **Journal of African Earth Science**. v.36. 1-14p, 2003.

MELACK JM, HESS LL. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: Amazon Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management (Orgs. Junk W.; Piedade, M.; Wittmann F.; Schöngart, J.; Parolin P. **Ecological Studies 210**, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2010. p. 43–59.

MENESES, M.; COSTA, L.; COSTA.; J. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p.478-489, 2007.

MERTES, L.A.K. Rates of flood-plain sedimentation on the Central Amazon River. **Geology**. v.22 171-174p. 1990.

MIRANDA, I.S., M.L. ABSY ;G.H. REBELO. Community structure of woody plants of Roraima savannahs, Brazil. **Plant Ecology** v. 164, n.1, p.109-123. 2003.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T. M. Cobertura da Terra e Parâmetros da Paisagem no Município de Caracaraí - Roraima. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n.1, p. 46-59. 2013.

MÜLLER-DOMBOIS D., ELLEMBERG, H. **Aims and methods for vegetation ecology**. John Wiley & Sons, New York, USA. 1974, 547 pp.

MURÇA PIRES, J. **Tipos de vegetação da Amazônia**. - Brasil Florestal, v.17, n., p.48-58. 1974.

ORFEU, L. **Mustreo, submuestreo y análisis de sólidos suspendidos em ambientes lóticos de llanura subtropical**. Corrientes, Universidade Nacional del Nordeste. 1991, 82p.

PEET, R.K. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.5, p.285-307. **Pesquisas da Amazônia**, Manaus, pp 231-265, 1974.

PESSENDA, L.C.R., OLIVEIRA, P., MOFATTO, M., GARCIA, R. ARAVENA, R., LEITE, A.Z. The evolution of a forest/grassland mosaic since 28,000 C-14 yr BP based on pollen and carbon isotopes. - **Quaternary Research**, v.71, p.437-452. 2009.

PIKE,R.; EVANS,I.; HENGL,T. Geomorphometry: A brief Guide. In: HENGL,T.; REUTER,H. **Geomorphometry: Concepts, Software and Applications**, Amsterdam: Ed. Elsevier, 2009, p.3-30.

RAMONELL, C.G.; AMSLER, M. Metamorphosis Processes (1992-2000) of the Quinto River, Argentina. In: **International Symposium on Environmental Hydraulics**, Arizona, USA. 2001, 101-105p.

RDI. **WinRiver user's guide**. USGS version: San Diego, Califórnia, Ed. RD Instruments, 2001. 158p.

RICE R.J. **Fundamentos de Geomorfología**. Editora Paraninfo, Madrid. 1993, 110-114p.

RICHARDS, K. **Rivers: Form and process in alluvial channels**. Ed. Methuen. New York. 1985, 90-119p.

SCHAEFER CER, VALE Jr JF . Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: Uma resenha do Cretáceo ao recente. In: Barbosa RI, Ferreira E, Castellón E (Eds), **Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima**, Instituto Nacional de Pesquisas da Amzônia. 1997.

SCHUMM, S.A. **The Fluvial System**. John Wiley and Sons, New York, 1977. 228p.

SILVA, E. L.S. A vegetação de Roraima,. In: **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima** (R.I. Barbosa, E.J.G. Ferreira e E.G. Castellón, Eds.). Editora do Inpa, Manaus 613p. p. 401-415. 1997.

STEVAUX, J.C.; FILHO, E.E.; MARTINS, D.P. Characteristics and dynamics of the Paraná river channel bedform: na approach to study the influences of the Porto Primavera Dam, Sand mining, and channel construction. In: **Structure and function of the Paraná river and its floodplain**. 15-18p. 2004.



STRAHLER, A.N. Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography. **Geol. Soc. Am. Bull.** v.63. p.1117-11142p. 1952.

TER STEEGE, H., PITMAN, N., SABATIER, D., CASTELLANOS, H., VAN DER HOUT, P., DALY, D.C., SILVEIRA, M., PHILLIPS, O.L., VASQUEZ, R., VAN ANDEL, T., DUIVENVOORDEN, J., De OLIVEIRA, A.A., Ek, R., LILWAH, R., THOMAS, R., VAN ESSEN, J., BAIDER, C., MAAS, P., MORI, S., TERBORGH, J., NÚÑEZ, P.V., MOGOLLÓN, H., MORAWETZ, W. A spatial model of tree adiversity and b-density for the Amazon Region. **Biodiversity and Conservation** v.12, p.2255–2277. 2003.

TRICART, J. **Principes et méthodes de l geomorphologie**. Paris:Masson Ed., 1965, 201p.

VANZOLINI, P.E. **Evolução ao nível de espécie: Répteis da América do Sul**. Beca - Fundação de Amparo do Estado de São Paulo 2011, 704p.

VELOSO, H.P., L. GÓES-FILHO, P.F. LEITE, S. BARROS-SILVA, H.C. FERREIRA, R.L. LOUREIRO; E.F.M. TEREZO, IV – Vegetação - As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos - Estudo fitogeográfico pp305-404. In: **Projeto Radambrasil - Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21** – DNPM, Rio de Janeiro. 1975.

WITTMANN F, HOUSEHOLDER E, PIEDADE MTF, ASSIS RL, SCHÖNGART J, PAROLIN P, JUNK WJ. Habitat specificity, endemism and the neotropical distribution of Amazonian white-water floodplain trees. **Ecography** v.36, p.690–707. 2013.

WITTMANN, F., ANHUF, D., JUNK, W. J. Tree species distribution and community structure of central Amazonian várzea forests by remote sense techniques. **Journal of Tropical Ecology** v.18, p.805 – 820. 2002.

WITTMANN, F., SCHÖNGART, J., MONTERO, J.C., MOTZER, T., JUNK, W.J., PIEDADE, M.T.F., QUEIROZ, H.L., WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. **Journal of Biogeography** v.33, p.1334–1347. 2006.

WORBES, M. The Forest ecosystemof the floodplains. In: Junk, W. (ed.), The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsating System. **Ecological Studies**, Springer, Berlin, v.126, p.223 – 265. 1997.