



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE**



**Comportamento hidrológico em bacia hidrográfica da savana amazônica e cenários
de usos do solo**

Silvestre Lopes da Nobrega

**Boa Vista - RR
SETEMBRO/2018**

SILVESTRE LOPES DA NOBREGA

Comportamento hidrológico em bacia hidrográfica da savana amazônica e cenários de usos do solo.

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof., Dr. WELLINGTON FARIAS ARAUJO

Coorientador (a): Dra. MAOLA MONIQUE FARIA

Boa Vista – RR
SETEMBRO/2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Catalogação-Na-Fonte

N754c Nobrega, Silvestre Lopes da.

Comportamento hidrológico em bacia hidrográfica da savana amazônica e cenários de usos do solo / Silvestre Lopes da Nóbrega – Boa Vista, 2018.

125 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Farias Araújo.

Coorientadora: Profa. Dra. Maola Monique Faria.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte.

1 – Savana amazônica. 2 – Modelo hidrodinâmico. 3 – Hidrogeomorfologia. I – Título. II – Araújo, Wellington Farias (orientador). III – Faria, Maola Monique (coorientadora).

CDU – 581.144.2(811.4)

Ficha Catalográfica Elaborada pela: Bibliotecária/Documentalista:
Marcilene Feio Lima - CRB-11/507-AM

SILVESTRE LOPES DA NOBREGA

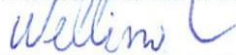
**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO EM BACIA HIDROGRÁFICA DA
SAVANA AMAZÔNICA E CENÁRIOS DE USOS DO SOLO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. WELLINGTON FARIAS ARAUJO

Co-orientador (a):

Banca examinadora



Prof. Dr. Wellington Farias Araújo
Orientador- Presidente da banca



Dr. Fernando Falco Pruski
Membro



Dra. Luiza Câmara Beserra Neta
Membro



Dr. Demétrius David da Silva
Membro



Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa
Membro

**Boa Vista - RR
SETEMBRO/201**

AGRADECIMENTOS

A coragem e determinação do grupo de docentes da UFRR e instituições parceiras em Roraima no incluir-se ao grande projeto rede BIONORTE, possibilitando a concretização do conhecimento e aprimoramento em estudos regionais e relevantes, e assim agradecer aos professores Valdinar Ferreira Melo, Wellington Farias Araújo e a gestora Gioconda Santos e Souza Martínez.

Aos membros da banca examinadora Dr. Fernando Falco Pruski, Dra. Luiza Câmara Beserra Neta, Dr. Demétrius David da Silva e Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa pelo valiosas e importantes contribuições.

Um destaque para o Dr. Wellington Farias Araújo pelo tempo e conhecimentos dedicados na orientação desta tese.

A estimada profissional e amiga Dra. Maola Monique Faria pelo apoio e trabalho conjunto na elaboração desta tese.

A acadêmica e futura engenheira civil Larissa Ribeiro de Casto nosso muito obrigado pela dedicação na execução das tarefas solicitadas.

Ao grande papel da família, esposa, filhos e irmãos no agregar-se as nossas aspirações, no andar junto e confiante da chegada ao fim desta etapa, entendendo nossa presente ausência.

Ao meu Jonas com minha Neuma, pais em sintonia perfeita em nossa formação e exemplo de educadores.

RESUMO

O bioma Amazônia tem a maior rede hidrográfica do planeta, é responsável por 73,6% dos recursos hídricos do Brasil, apresenta fisionomia vegetal predominante de floresta e várzeas inundadas, e parte de savana na região norte da Amazônia, com destaque para a porção nordeste do estado de Roraima, estendendo-se no escudo das Guianas e da Gran Sabana Venezuelana. A característica de paisagem da savana é complexa para o estudo da dinâmica hídrica, devido às incertezas na qualificação deste recurso natural e de metodologias, ainda em aperfeiçoamento, para modelar o comportamento hidrológico dos mananciais frente à hidrodinâmica e interação com as planícies inundáveis, lagos isolados, bem como as mudanças no uso e ocupação da terra nesta região de savana. O Objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento hidrológico em bacia hidrográfica de savana na Amazônia, frente às características geomorfológicas, condições atuais de clima e previsão de cenários futuros de uso e ocupação do solo, com a manutenção das condições climáticas. A bacia do rio Surumu é ocupada por 77,7% de vegetação de savana, 21,5% de floresta, 1% de uso agrícola e 0,2% de superfície coberta por água, distribuídos em 71,4% de modelados de dissecação, 20,7% em aplanamento e 7,7% em acumulação, e ocupa uma área de 12.664,14 km². O MGB-IPH foi o modelo hidrológico escolhido para simulações hidrológicas, com metodologia de discretização em unidades de respostas hidrológicas (URHs) composta por modelados geomorfológicos e do uso e ocupação da terra, proporcionou maior aproximação dos parâmetros do modelo de grandes bacias (MGB-IPH) aos conceitos e características físicas, pela interação ao conceito de paisagem, pois os ambientes geomorfológicos influenciam na fitofisionomia das savanas e florestas. O modelo MGB-IPH respondeu bem as melhorias na definição dos valores dos parâmetros da calibração ligados as URHs definidas no trabalho, mas observa-se a necessidade de melhor espacialização dos parâmetros característicos da vegetação nas sub-bacias calibradas. A vegetação de savana apresenta papel importante na produção de água e manutenção de vazões mínimas de referência. Os cenários de substituição de 20% e 50% da área de vegetação de savana por uso agrícola em modelados de aplanamento e acumulação, reflete um acréscimo pouco significativo de vazões mínimas, média e máximas simuladas na maioria dos principais afluentes na bacia do rio Surumu.

Palavras-chave: Savana amazônica, Modelo hidrodinâmico, Hidrogeomorfologia

ABSTRACT

Amazon biome constitutes the biggest drainage network of the planet, with a vegetal physiognomy characterized for the predominance of forest and floodplains, it is responsible for 73,6% Brazilian water resources, and part of savanna located in the north region of Amazon and to the north and northeast of the state of Roraima, extending into the Guiana Shield and Gran Sabana. The savanna landscape has a complex characteristic for the study of hydric dynamics, due to uncertainties in the qualification of this natural resource and methodologies that need improvement to modelling the hydrologic response of the water sources against hydrodynamics and interaction with floodplains, isolated lakes, as well as change in use and occupation land in this savanna region. The main objective of this study was to contribute to the knowledge of the hydrologic response in the borders of Surumu river basin in an area of 12.664,14 km², where 77,7% are savanna, 21,5% forest, 1% agricultural use and 0,2% surface area covered by water, distributed in 71,4% modeled of dissection, 20,7% planation and 7,7% accumulation. The hydrological simulation with a discretization method composed by forms of modelling and use and occupation of the land provided a parameter approach a large-scale hydrological model, applied to many South American basins (MGB-IPH), to the concepts and physical characteristics through the interaction with the landscape concept, since the savannas and forests show distinct phytophysiognomies depending on the geomorphological environment. Savanna vegetation plays an important role in producing water and keeping minimum reference flows. Scenarios of replacement of 20 and 50% in the area of savanna vegetation by agricultural use in planation and accumulation modelling cause a slight increase in minimum, medium and maximum simulated flows, in most of the main Surumu river basin tributaries.

Keywords: Amazon savanna, hydrodynamic model, hydrogeomorphology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de inundação com retângulo central das várzeas dos rios Solimões e Amazonas, ao sul a savana de Llanos de Mojos e ao norte a savana em Roraima, Venezuela e República da Guiana.	24
Figura 2 - Áreas de domínio das Savanas (1 - Limite do Lavrado em Roraima; 2 - Venezuela; 3 - Rupununi, Savana da Guiana).	25
Figura 3 - Perfil topográfico das transversais em Roraima A, B e C e Venezuela - Roraima, transversal D.	26
Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Alto Rio Branco	27
Figura 5 - Tipos Climáticos na Bacia do Alto Rio Branco	28
Figura 6 - Distribuição da precipitação média anual na bacia do alto rio Branco	29
Figura 7 - Postos fluviométricos na bacia do alto rio Branco: “A” - Boa Vista; “B” - Auaris; “C” - Uaicás; “D” - Fazenda Passarão; “E” - Bonfim; “F”- Maú; “G” - Tacutu (Ponte Tacutu); “H” - Cotingo (Maloca do Contão); “I” - Surumu (Vila Surumu); “J” - Cajupiranga; “K” - Fazenda Paraíso	30
Figura 8 - Unidades Geomorfológicas na bacia do alto rio Branco	32
Figura 9 - Unidades Geomorfológicas na bacia do rio Surumu (Modificado de IBGE, 2009)	32
Figura 10 - Tipos de Modelados na bacia do alto rio Branco (Modificado de IBGE, 2009) ...	35
Figura 11 – Geomorfologia típica da Savana: 1. Tesos (morfologias convexas); 2. Lagos; e 3. Margem do sistema de drenagem	36
Figura 12 - Representação esquemática do modelo hidrológico MGB-IPH acompanhado do modelo hidrodinâmico.	42
Figura 13 - Vazão média ($\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) de longo termo na bacia do rio das Almas em função dos parâmetros: (A) albedo, (B) índice de área foliar, (C) resistência superficial e (D) altura média da vegetação. Os valores de parâmetros indicados “ Δ ” caracterizam condições de floresta e “*” de pastagem.	53
Figura 14 - Domínio de vegetações abertas e fechadas e total da pluviosidade anual concentrada (abril-setembro) na bacia do alto rio branco	56
Figura 15 - Mapa das Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) na Bacia do Rio Surumu	59
Figura 16 - Localização da Área de Estudo - Bacia do rio Surumu	61
Figura 17 - Fluxograma de aplicação do modelo MGB-IPH (Adaptado de Paiva, 2013)	62
Figura 18 – Sub-bacias da bacia do rio Surumu	64
Figura 19 - Principais cursos d’água na bacia do rio Surumu	65

Figura 20 – Mapa da Geomorfologia da Amazônia Legal – Modelados como unidades básicas do mapeamento (Adaptado IBGE, 2009).....	66
Figura 21 - Uso e Cobertura da Terra para o estado de Roraima (Adaptado IBGE, 2014)	67
Figura 22 – Localização das estações Pluviométricas e Fluviométricas usadas no estudo	69
Figura 23 – Gráfico da disponibilidade temporal dos dados de precipitação na região de estudo	70
Figura 24 – Gráfico da disponibilidade temporal dos dados fluviométricos na região de estudo	71
Figura 25 - Modelo Digital de Elevação da bacia do rio Surumu	76
Figura 26 - Mapa de Discretização em Sub-Bacias (a) e sub-bacias dos principais afluentes dos Rios Surumu e Cotingo (b)	77
Figura 27 - Características Geomorfológicas da bacia do rio Surumu.	79
Figura 28 - Características do uso e cobertura da terra da bacia do rio Surumu	80
Figura 29 - Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) e principais cursos d'água da bacia do rio Surumu	82
Figura 30 – Alteração das URHs devido cenários propostos do uso e cobertura da terra da bacia do rio Surumu	84
Figura 31 – Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas	86
Figura 32 – Distribuição das precipitações mensais do trimestre mais seco (janeiro a março) na bacia do rio Surumu	87
Figura 33 – Distribuição das precipitações mensais do trimestre mais chuvoso (maio a julho) na bacia do rio Surumu	87
Figura 34 – Hidrogramas de vazões diárias simuladas e observadas no período de calibração para as sub-bacias de controle: a – Maloca do Contão; b – Vila Surumu.	94
Figura 35 – Hidrogramas de vazões diárias simuladas e observadas no período de validação para as sub-bacias de controle: a – Maloca do Contão; b – Vila Surumu.	95
Figura 36 – Variação (%) das vazões de referência simuladas Q_{90} para cenários C20 e C50	109
Figura 37 – Variação (%) das vazões de referência simuladas $Q_{máx}$ para cenários C20 e C50	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Vazões de referência para postos fluviométricos na bacia do rio Surumu.	31
Tabela 2 – Valores do albedo médio diário para algumas classes de cobertura da terra.	49
Tabela 3 – Valores do índice de área foliar (IAF) para algumas classes de cobertura da terra.	50
Tabela 4 - Valores de resistência superficial (rs) mínima ou em ótimas condições de umidade no solo de diferentes tipos de vegetação adotados ou estimados.	51
Tabela 5 - Valores da altura da vegetação (h) utilizadas pelo modelo MGB-IPH.	52
Tabela 6 - Inventário das estações pluviométrica na região em estudo	68
Tabela 7 - Inventário das estações Fluviométricas na região em estudo.	71
Tabela 8 – Normal climatológica, estação Boa Vista.	72
Tabela 9 - Áreas das sub-bacias estudadas na bacia do Rio Surumu.	78
Tabela 10 - Distribuição de áreas das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) na Bacia do Surumu.	81
Tabela 11 - Distribuição de áreas das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) na Bacia do Surumu frente a mudança no uso e ocupação das terras.	84
Tabela 12 - Parâmetros relativos às características da vegetação (albedo (α), índice de área foliar (IAF), resistência superficial (rs) e altura (h)) e critério de definição.	89
Tabela 13 – Valores mensais do parâmetro albedo (adimensional)	90
Tabela 14 – Valores mensais do parâmetro índice de área foliar (adimensional)	90
Tabela 15 – Valores mensais do parâmetro altura (m)	90
Tabela 16 – Valores mensais do parâmetro resistência superficial ($s.m^{-1}$)	91
Tabela 17 – Parâmetros calibrados do modelo MGB-IPH para sub-bacia 2 (Vila Surumu)....	92
Tabela 18 – Parâmetros calibrados do modelo MGB-IPH para sub-bacia 3 (Maloca do Contão) e sub-bacia 4 (Exutório)....	92
Tabela 19 – Valores das funções objetivas para as sub-bacias de controle	93
Tabela 20 – Erros sistemáticos nas vazões simuladas para as sub-bacias Vila Surumu e Maloca do Contão	96
Tabela 21 – Comportamento das vazões ($m^3.s^{-1}$) de referências simuladas para os afluentes da bacia do rio Cotingo	97
Tabela 22 – Comportamento das vazões de referências simuladas para os afluentes da bacia do rio Surumu	98
Tabela 23 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 20% (C20) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes do rio Cotingo	

.....	103
Tabela 24 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 20% (C20) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes diretos do rio Surumu	104
Tabela 25 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 50% (C50) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes do rio Cotingo	105
Tabela 26 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 50% (C50) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes diretos do rio Surumu	106
Tabela 27 – Vazões mensais Q_{90} ($m^3.s^{-1}$) dos principais afluentes e pontos de controles na bacia do rio Surumu	124
Tabela 28 – Vazões mensais Q_{95} ($m^3.s^{-1}$) dos principais afluentes e pontos de controles na bacia do rio Surumu	125

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1	Impactos antrópicos sobre os Recursos Hídricos	18
4.2	A Bacia Amazônica, aspectos hidrológicos e Climáticos	22
4.3	Aspectos Geomorfológico.....	31
4.4	Hidrologia e modelos Hidrológicos em Grandes Bacias	37
4.5	Uso e Cobertura do solo e Unidades de Resposta Hidrológica (URH)	54
5	MATERIAL E MÉTODOS	61
5.1	Informações Hidrológicas e Climática.....	68
5.2	Calibração e Validação da Modelagem.....	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
6.1	Discretização da Bacia do Rio Surumu.....	76
6.2	Unidades de Resposta Hidrológica (URH)	78
6.3	Informações Hidrológicas	85
6.4	Calibração do modelo	88
6.5	Comportamento Hidrológico.....	96
7	CONCLUSÕES	113
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
	APÊNDICE A	124

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da humanidade é assegurar a disponibilidade de recursos naturais de forma sustentável em quantidade e qualidade suficientes para suprir a demanda mundial de alimentos e ao mesmo tempo, garantir a integridade dos ecossistemas (TURETTA; PRADO; SHULLER, 2010).

Com aproximadamente 206 milhões de hectares o cerrado brasileiro é ocupado em cerca de 20 milhões com cultivados de grãos, sendo 1/3 somente de soja (ARAÚJO; SAMPAIO; MEDEIROS, 2005). Em Roraima, o cerrado ocupa uma área de 1.500.000 hectares (GIANLUPPI; GIANLUPPI; SMIDERLE, 2000; ARAÚJO; SAMPAIO; MEDEIROS, 2005), configurando-se como as melhores terras para exploração agrícola.

Com participação efetiva no Produto Interno Bruto (PIB) e geração de emprego no estado de Roraima, o agronegócio do arroz tem crescido e seu potencial de expansão é ainda maior, tendo em vista a existência de 160.211 hectares de solos de várzeas (CORDEIRO et al. 2010).

Barbosa; Miranda (2005) esclarecem que no âmbito regional os termos savana, cerrado e lavrado identificam o mesmo tipo paisagístico em Roraima, e poderiam ser integrados no Bioma do Cerrado brasileiro. Entretanto, por definição fitogeográfica, toda esta paisagem faz parte da ecorregião das “Savanas das Guianas” que pertence ao Bioma Amazônia.

Parece difícil evitar, frente a crescente demanda por alimentos, o avanço contínuo de novas fronteiras, hoje, direcionado para áreas do bioma de floresta amazônica (Pará, Rondônia, Amazonas e Roraima) e Savanas (Roraima).

Características como topografia plana, solos profundos e a facilidade para eliminar a cobertura vegetal original, ampliam as vantagens na utilização da savana para produção agrícola, que embora exista a conjuntura de baixa fertilidade do solo e longa estação seca, os avanços tecnológicos para setor produtivo atenuam seus efeitos.

Atualmente essa realidade é vivenciada na savana do estado de Roraima, área de agricultura de grãos como soja e milho com maiores concentrações nos municípios de Bonfim, Alto Alegre e Boa Vista, além do cultivo de arroz, já consolidado nestas regiões, demandando uso dos recursos hídricos sendo preciso responder quanto aos limites das disponibilidades e do uso da água.

Para tanto, informações dos parâmetros dos monitoramentos hidrológicos precisam ser transformadas em padrões e normas característicos para dar suporte de gestão e controle, fato ainda não foi concretizado na região em estudo, sendo os modelos hidrológicos ferramentas importantes em responder tais questões.

O desenvolvimento de modelos hidrológicos físicos/conceituais robustos com análises não mais concentradas em apenas pontos de controle, mas com dinâmicas de avaliação distribuídas para a totalidade da área de estudo, vem sendo cada vez mais aprimorados com interfaces amigáveis e resultados bem ajustados aos valores naturais. (COLLISCHONN, 2001; COLLISCHONN et al., 2007; PAIVA; COLLISCHONN; TUCCI, 2011a).

A assimilação de dados e informações hidrológicas com uso de geotecnologias torna-se mais comuns na modelagem, considerando a espacialidade da informação, inclusive recompondo dados em regiões com baixa intensidade de informação e agilizando a calibração e processamento das variáveis geomorfométricas, hidrológicas e climáticas dos estudos. (COLLISCHONN et al., 2007; PAIVA et al, 2013).

Formas de discretização das bacias em unidades de resposta hidrológica (URHs), associando-as a parâmetros de características físicas que simulam o comportamento hidrológico e climático nestas bacias (COLLISCHONN, 2001; COLLISCHONN et al., 2007; FAN et al., 2015), vêm sendo discutidas e aprimoradas quanto aos objetivos pretendidos dos estudos hidrológicos. Neste contexto, as características de uso e ocupação da terra associada a tipologia do solo são evidenciadas.

Entendendo que os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem, e as formas de relevo condicionam ou controlam os processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais, este trabalho modela o comportamento hidrológico na bacia do rio Surumu, em ambiente de savana, discretizando-a em UHRs por combinação do mapa da geomorfologia ao mapa do uso e ocupação da terra, formando um conjunto no estudo hidrogeomorfológico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica de savana na Amazônia, frente às características geomorfológicas, condições atuais de clima e previsão de cenários futuros de uso e ocupação do solo deste ecossistema, considerando a manutenção das condições climáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Modelar o comportamento hidrológico do ambiente de Savana, com interação da geomorfologia ao uso e ocupação do solo atual e cenário futuro, sem alterações das condições climáticas.
- b) Avaliar o potencial hidrológico em modelados geomorfológicos na tipologia de savana.
- c) Avaliar tendências de alterações no comportamento hidrológico com mudança de uso e ocupação de solo.

3 JUSTIFICATIVA

A ocupação, o desenvolvimento do setor do agronegócio, associado a obras de infraestrutura como rodovias e hidroelétricas vêm impactando a Amazônia, com destaque para o desflorestamento tratado por Leite et al (2012). Neste contexto, Rodriguez; Tomasella; Linhares (2010) alertam para possíveis mudanças no comportamento hidrológico desta importante bacia, embora ainda não compreendido por carências de informações e sequências de estudos na região.

Várias são as ferramentas desenvolvidas no exterior que se destinam à modelagem hidrológica, entretanto a aplicação e o ajuste dos parâmetros à realidade brasileira têm sido um grande desafio para os profissionais e pesquisadores da área, considerando às grandes diferenças entre as condições edafoclimatológicas (MELLO, 2009).

Sidle; Onda (2014) evidenciam o uso de estudos hidrogeomorfológicos com foco no entendimento dos processos de escoamento influenciados pela litologia e geomorfologia, processos de erosão e ligações a fluxos, modelagem de fatores hidrológicos bem como avaliar propriedades hidrológicas associadas ao solo, interação da precipitação atmosférica e o meio ambiente.

Segundo Barbosa; Miranda (2005), as savanas de Roraima não são tão pobres em diversidade vegetal quanto se imagina, sendo ambientes regionais com identidade ecológica e florística própria devendo ser preservada pela riqueza ambiental, chamando a atenção para o momento do forte processo de expansão das lavouras e da silvicultura empresariais por toda a área de savana, também chamada de lavrado.

Para a região de savana em Roraima, apresenta a efetivação de cultivos agrícolas, em especial, a soja e o arroz, sequeiro ou irrigado, e assim evidencia amplitude na modificação do uso e cobertura do solo e da demanda por recursos hídricos.

O conhecimento dos processos hidrológicos é fator primordial no planejamento e gerenciamento destes recursos, sendo estes determinantes no entendimento da dinâmica e disponibilidade dos recursos hídricos em uma região.

Para tanto, algumas questões precisam ser respondidas: Quanto de água existe e a permanência desta nos principais mananciais nesta savana? Qual o impacto da alteração do uso e cobertura da terra nos recursos hídricos? Quanto de água ganha ou perde? Qual a dinâmica dos recursos hídricos nesta savana?

A complexidade do tema em estudo surge da dinâmica da paisagem de savana, que embora parte do bioma Amazônico, apresenta comportamento diferente dos processos já

modelados, como a parametrização rio-planícies inundadas, sendo neste ambiente de savana evidenciadas planícies não integradas superficialmente com os rios, com surgimento possível da flutuação de lençol freático, além da interface natural com ambientes de floresta.

A região proposta para o estudo compreende a bacia do rio Surumu, afluente do rio Tacutu, transfronteiriço de domínio Federal, assentada em unidades morfoestruturais do Planalto Sedimentar Roraima e Planalto do Interflúvio Amazonas – Orinoco.

Pela importância da região, sendo a savana o ambiente que compõem áreas da bacia do alto rio Branco, faz-se necessário o entendimento da hidrodinâmica da bacia na interação rio, várzeas inundadas, lagos naturais, armazenamento de água no solo, cenários de uso do solo, associando aos modelados geomorfológicos na análise dos processos de geração de vazão.

Neste contexto, a utilização de modelo hidrológico, caso MGB-IPH, com resultados satisfatórios da dinâmica hidrológica em grande parte das bacias hidrográficas no Brasil, inclusive na Amazônia, associando aspectos geomorfológicos de forma direta na parametrização da modelagem, apresenta contribuição no conhecimento da interação de processos hidrológicos com os modelados geomorfológicos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 IMPACTOS ANTRÓPICOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

O agronegócio associado às demandas crescentes por produtos industrializados e de base tecnológica tem impulsionado demanda por mais infraestrutura (energia, estradas, ferrovias e portos) que direta ou indiretamente aumenta a pressão de uso dos recursos naturais. Isso tem causado um impacto cada vez maior no uso e cobertura das terras, afetando diretamente a capacidade dos ecossistemas em prover diferentes serviços essenciais à manutenção da vida, os chamados serviços ecossistêmicos (TURETTA; PRADO; SHULLER, 2010).

A exploração inapropriada da terra está intimamente relacionada com a degradação dos recursos naturais (MATOSO; ZAQUEO; NOBREGA, 2016), sendo o planejamento de uma área de produção elemento chave no favorecimento tanto para o ambiente quanto para o sistema produtivo.

A avaliação do impacto do uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias rurais é fundamental na conservação e uso dos recursos hídricos. Vários estudos de bacias experimentais demonstrando que o desmatamento para utilização de culturas anuais, que é o processo que ocorre em grande parte do território brasileiro, produz aumento do escoamento superficial, aceleração dos processos erosivos, contaminação por defensivos agrícola e alteração das vazões mínimas. Essa alteração pode ser importante, dependendo da cobertura anterior, das condições climáticas, e do uso do solo (TUCCI; CLARKE, 1997; FARLEY; JOBBAGY; JACKSON, 2005; SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

Pruski (2006) relata que os prejuízos sociais e ecológicos advindos da erosão são bastante elevados. A erosão do solo reduz a capacidade produtiva das terras, refletindo no aumento dos custos de produção e, conseqüentemente, no lucro obtido pelos agricultores.

A cobertura vegetal tem papel relevante por atenuar os impactos das gotas de chuva e diminuir a velocidade do escoamento superficial. Sua eficiência em reduzir as perdas de solo por erosão pode ser atribuída principalmente à proteção da superfície do solo proporcionada pelas plantas, impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação do solo e resultando em baixa concentração de sedimentos do escoamento superficial (BARROS et al., 2009).

A Amazônia é um bioma importante no cenário nacional, com grande apelo ambiental e necessidades de atendimento de sua população em relação ao bem-estar, desenvolvimento humano e de necessidades básicas de manutenção de sua sociedade.

A expansão da pecuária e o plantio da soja na bacia amazônica têm aumentado as taxas de desmatamento, necessidades de abertura de rodovias e surgimentos de novos núcleos urbanos. Diante dessa pressão crescente, uma estratégia abrangente para a conservação da bacia amazônica deve proteger suas bacias hidrográficas, a gama de espécies e diversidade de ecossistemas, bem como a estabilidade dos climas regionais (SOARES-FILHO et al., 2006).

O Estado de Roraima cultivou, na safra 2016/2017, conforme CONAB (2017) uma área de 30,0 mil hectares de soja (*Glycine max*), 12,3 mil hectares de Arroz (*Oryza sativa*) e colheu em 7,6 mil hectares de milho (*Zea mays*), sendo 5,8 mil hectares em cultivo empresarial e 1,8 mil hectares com agricultura familiar, demonstrando um processo de expansão de área plantada de 2016 para 2017 de 25%, 43% e 65% para a soja, arroz e o milho, respectivamente.

Em 2050, com as tendências atuais de expansão agrícola vão eliminar um total de 40% das florestas da Amazônia, incluindo pelo menos dois terços da cobertura florestal de seis grandes bacias hidrográficas e 12 ecorregiões, além da eliminação de um quarto das 382 espécies de mamíferos (SOARES-FILHO et al., 2006); deixando o alerta, embora na região do estudo a expansão agrícola ocorra em áreas da savana.

Gómez-Pompa (2004) afirma da necessidade de urgência na realização de estudos em biodiversidade nas áreas de rápida transformação e que enfrenta elevadas taxa de desmatamento, mas a ciência vem encontrando obstáculos na efetivação destes estudos visto aos escassos recursos e restrições legais em campo para os estudos da biodiversidade tropical e etnobiologia.

Torna-se visível a necessidade de desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que envolvam práticas conservacionistas em nosso sistema de produção, objetivando continuidade de uso dos sistemas ambientais, em especial os recursos hídricos e solo, como capitanear recursos econômicos com sustentabilidade ambiental na região.

Silva; Rylands; Fonseca (2005); Soares-Filho et al. (2006) apresentam a importância de tornar áreas endêmicas em unidades geográficas básicas de conservação, criando de corredores de áreas protegidas, com limites contínuos e ampla conectividade das margens e interiores destas áreas, visto as características da floresta amazônica de não distribuição homogênea de plantas e animais, mas um grande mosaico de áreas endêmicas separadas pelos principais rios da região.

Estudos biogeográficos de vertebrados indicaram áreas denominadas Tapajós, Xingu, Belém, Rondônia, Napo, Imeri, Guiana e Inambari como as oito grandes áreas de endemismo, em terras baixas da Amazônia. Sendo estas áreas, embora potencialmente detentoras de biodiversidade, apresentam percentuais reduzidos de áreas protegidas (SILVA; RYLANDS; FONSECA, 2005).

As barragens prometem gerar eletricidade livre de carbono, mas elevam a construção de estradas e o desmatamento, invasões de trabalhadores migrantes e enormes emissões de metano quando grandes áreas de florestas são afogadas. Cada vez mais, os especialistas temem que a mudança dos padrões de chuvas provocadas pelo desmatamento e as mudanças climáticas podem reduzir o retorno de energia a partir de barragens, tornando obsoletos muitos investimentos (TOLLEFSON, 2011).

Brasil (2011) destaca a elevação da participação da região Norte na expansão de projetos de geração de energia elétrica, passando de 10%, em 2011, para 23% da capacidade instalada no sistema nacional, em 2020, totalizando 28.209 MW de expansão. Em contrapartida, nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, há uma redução de 60% para 46% na participação na oferta total do sistema, mesmo com uma expansão prevista de 12.812 MW para o horizonte decenal.

Os aproveitamentos hidrelétricos de Belo Monte (rio Xingu), Santo Antônio e Jirau (rio Madeira), juntos, serão responsáveis por cerca de 10% da capacidade instalada do sistema nacional no final do horizonte decenal. Ao se incluir nesse conjunto os empreendimentos dos rios Teles Pires, Tapajós e Jamanxim, a participação de todas essas usinas representará 14% do total, no final do horizonte de planejamento (BRASIL, 2011).

Os planos para o rio Xingu representam um grande desenvolvimento com profundos impactos ambientais e sociais, também ilustra os problemas que afetam a tomada de decisão para os grandes projetos de desenvolvimento em outras partes da Amazônia e em todo o mundo (FEARNSIDE, 2006).

A bacia hidrográfica representa um grande mosaico de atributos físicos que estabelecem a dinâmica do sistema fluvial, sendo estes atributos representados pela litologia, a topografia, a pedologia, o uso do solo, a morfometria da bacia, e o clima, além de processos antrópicos capazes de trazer mudanças importantes no equilíbrio destes atributos (SANDER, 2015). Os impactos dos diferentes tipos de pressão antrópica sobre a hidrologia podem ser avaliados com o auxílio de modelos hidrológicos de grande escala (PAIVA et al., 2012).

Ao longo dos anos, vários experimentos foram montados e modelos matemáticos usados para verificar a influência da mudança da cobertura vegetal no regime hidrológico das

bacias hidrográficas. Bosch; Hewlett (1982) relatam que esta influência da vegetação sobre as águas está relacionada à fitofisionomia desta vegetação e assim em ordem decrescente de influência tem-se em primeiro as florestas coníferas, vegetação lenhosa decídua, capoeiras e pastagens.

Maiores valores de vazões de longa duração, com incrementos de 9 a 28%, foram encontrados por Trimble; Weirich; Hoag (1987), através de análise regressão de séries históricas de vazão e de precipitação em bacias com áreas entre 2.800 e 19.500 km², em função de redução na cobertura vegetal.

Bayer et al. (2013), com o uso do modelo MGB-IPH, simularam alterações da vegetação em três bacias hidrográficas com diferentes regiões climáticas do Brasil, a bacia hidrográfica do rio das Almas (Centro oeste), do rio Ji-Paraná (Norte) e a bacia do rio Jacuí (Sul), sendo aplicado cenários em que, inicialmente, 100% da bacia era coberta por florestas. Depois, foram realizadas simulações em etapas progressivas de desmatamento, impondo uma condição de pastagem após o desmatamento, até chegar ao cenário em que 100% da bacia estava coberta por pastagens, comparando os resultados de aumento de vazões médias do estudo com valores experimentais em bacias pareadas na literatura.

A vazão média de longo termo nas três bacias passou de 612, 449 e 351 mm.ano⁻¹ na condição de bacia coberta por florestas, para 892, 693 e 725 mm.ano⁻¹, respectivamente, na condição de bacia 100% coberta por pastagens, nas bacias do rio Ji-Paraná, rio das Almas e rio Jacuí, respectivamente, contabilizando aumento nas vazões simuladas de 281 mm.ano⁻¹, de 244 mm.ano⁻¹, e de 374 mm.ano⁻¹ (BAYER; COLLISCHONN, 2013).

Bayer (2014) define o incremento no coeficiente de escoamento, reflexo da simulação com aumento com o desmatamento, passando de 0;33; 0;26; e 0;21 com floresta, para 0;48; 0;41; e 0;43 com pastagens, nas bacias nas bacias rio Ji-Paraná, rio das Almas e rio Jacuí, respectivamente.

O desmatamento, embora produza aumento das cheias de pequeno tempo de retorno, não afeta substancialmente as cheias de grande tempo de retorno, pois as florestas podem reduzir pequenas cheias, embora, em geral, não reduzem eventos extremos com grandes tempos de retorno. A baixa influência das florestas em eventos de cheias de longa duração foi observada nos resultados obtidos por de simulação utilizando o modelo MGB-IPH (BAYER, 2014).

Quanto as vazões mínimas, Bayer (2014) verifica um aumento das mesmas, tanto em relação ao aumento do desmatamento quanto em relação ao aumento do tempo de retorno, assim considerando os resultados compatíveis com a literatura.

Bayer (2014) avalia o impacto do desmatamento nas vazões mínimas de referência Q_{95} , ou seja, as vazões associadas às permanências de 95%, encontrando para a bacia do rio Ji-Paraná, estado de Rondônia, um aumento na Q_{95} de 9% para 20% de desmatamento, 21% para 50% de desmatamento, 33% para 80% de desmatamento e de 41% para 100% de desmatamento.

Para a bacia do rio das Almas, no estado de Goiás, verificou-se um aumento na Q_{95} de 13% no cenário com 20% de desmatamento, de 33% para 50% de desmatamento, de 51% para 80% de desmatamento e de 64% para 100% de desmatamento, e na bacia do rio Jacuí, estado do Rio Grande do Sul, os incrementos na vazão Q_{95} foram de 24% para 20% de desmatamento, de 60% para 50% de desmatamento, de 94% para 80% de desmatamento e de 116% para 100% de desmatamento (BAYER, 2014).

4.2 A BACIA AMAZÔNICA, ASPECTOS HIDROLÓGICOS E CLIMÁTICOS

O bioma Amazônia tem como característica a dominância do clima quente e úmido, a predominância de fisionomia vegetal florestal, a continuidade geográfica, a condição periequatorial e o próprio contexto da Bacia Amazônica, sendo a maior rede hidrográfica do planeta. Além das formações florestais, são encontradas neste bioma tipologias de savana, campinarana, formações pioneiras e de refúgio vegetacional e as diferentes formas de contato entre estas (BRASIL, 2006).

O Rio Amazonas, ao entrar no Brasil na divisa com o Peru, é denominado de Solimões. Seu regime é governado pela distribuição não uniforme da pluviosidade, onde na parte central da bacia a quantidade de chuvas alcança 2.500 mm/ano e, na bacia do Rio Negro chega a 3.600 mm/ano. O canal principal que corre de oeste para leste, quase paralelo à linha do equador, é influenciado por estações de chuva que ocorrem em tempos diferentes nos hemisférios sul e norte, promovendo uma situação de equilíbrio para o aporte das águas ao canal principal pelos afluentes das duas margens (FRANZINELLI, 2011).

Em 2005, grande parte da Amazônia Ocidental experimentou a seca mais severa nos últimos 40 anos e uma das mais intensas dos últimos cem anos. A navegação ao longo de seções dos rios Madeira e Amazonas superior e central (conhecido no Brasil como o Rio Solimões) foi suspensa por causa dos baixos níveis de água, o que levou vários países da região amazônica (Brasil, Bolívia, Peru e Colômbia) a declarar o estado de calamidade pública em setembro de 2005 (MARENGO et al., 2008).

Períodos secos têm deixado milhares de pessoas com falta de comida, causado problemas com transporte fluvial, agricultura, geração de energia hidrelétrica, e afetando direta e indiretamente as populações que vivem ao longo dos rios da região (MARENGO et al., 2008).

A queda repentina do nível do rio Negro em Manaus a partir de julho de 2005, Amazônia norte-central, não se deveu por redução de chuvas no noroeste da Amazônia, mas pelo efeito do nível baixo do Amazonas a montante de sua confluência com o rio Negro, devido à redução de chuvas naquelas porções da bacia (MARENGO et al., 2008).

Além das secas, destaque nos anos de 1996, 2005 e 2010, a bacia Amazônica convive com eventos hidrológicos extremos também de cheias (PAIVA et al., 2013), por exemplo, em 2009 e 2012 afetaram diretamente o transporte de pessoas e bens potável, agricultura e produção de energia a partir de hidrelétricas.

Tais variações hidrológicas extremas, associado à magnitude em extensão territorial e variações fisiográficas da Bacia, torna-se compreensivo o não completo conhecimentos técnicos destas variáveis e variações hidrológicas nesta região hidrográfica.

Existe uma forte relação entre a ocorrência de cheias (vazantes) extremas com estoque de água continental elevado na Amazônia (GUEDES; CANDIDO; SANTOS, 2013, PAIVA, 2013). Medições pontuais e em profundidade do armazenamento de água continental podem fornecer indicações mais precisas da dinâmica do sistema hidrológico e sua resposta à variabilidade climática.

Melark et al. (2004) apresentam uma visão geral de zonas úmidas da bacia Amazônia, com ênfase a regionalização de emissão de metano na bacia e destacam que a cobertura vegetal de áreas úmidas na bacia do Amazonas varia em função do regime hidrológico.

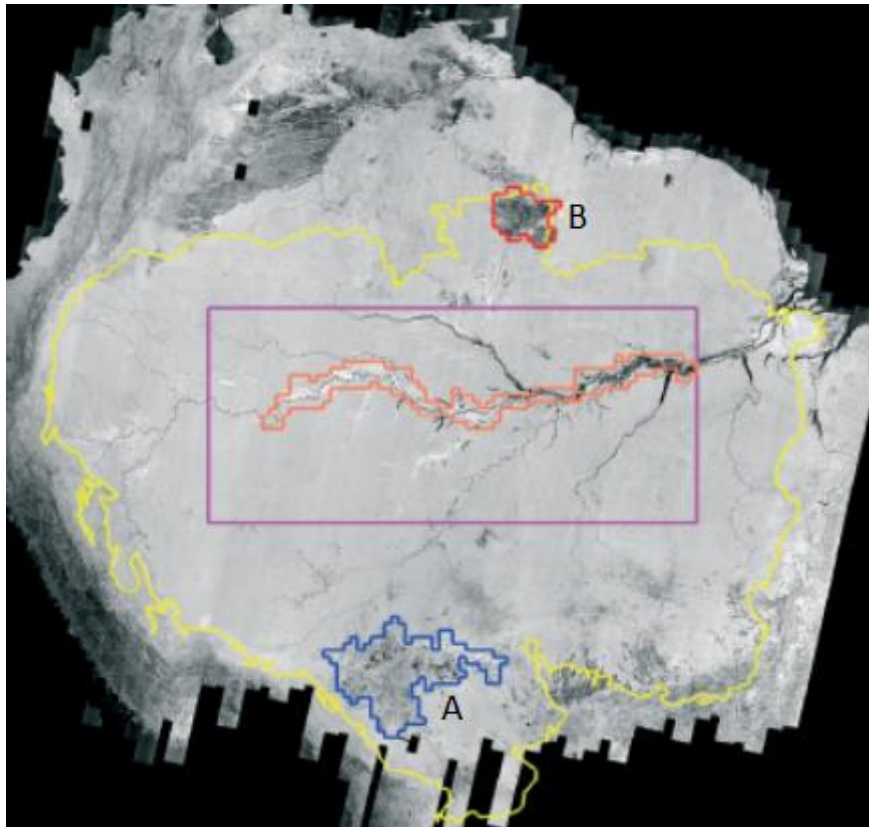
Os grandes rios costumam ter inundações anuais unimodal que duram vários meses e inundam extensas várzeas cobertas por água aberta, florestas inundadas e aquáticas macrófitas. As águas com cargas de sedimentos, em rios de águas brancas (por exemplo, na Amazônia, Madeira, Purus, Juruá e Japurá) e águas ricas em nutrientes dissolvidos em rios de águas pretas e livre de sedimentos (por exemplo, rio Negro) (MELARK et al., 2004).

Conforme Melark et al. (2004), os rios e córregos menores exibem inundações polimodal de suas várzeas, e considerando os milhares de quilômetros deste habitat evidencia sua importância regional em porções da bacia com estação seca e ocorrência de savanas expostas a inundações sazonais de chuva e rios, por exemplo de Roraima, no Brasil e Llanos locais de Mojos na Bolívia.

Na América do Sul, as formações savânicas ocupam 2,5 milhões de Km², sendo que 80% desta área concentra-se na região central com denominação de cerrado, mas existem enclaves na região Amazônica de ambientes savânicos com importância ambiental tanto botânicas quanto faunísticas (MATAVELLI; LOUZADA, 2008).

Duas extensas regiões com tipologia de savana são observadas dentro da bacia Amazônica, sendo uma na Bolívia em Llanos de Mojos (Figura 1,A), parte da bacia do Rio Madeira superior, e outra porção as savanas no Estado de Roraima na bacia do rio Branco, afluente do Rio Negro (Figura 1,B).

Figura 1 - Áreas de inundação com retângulo central das várzeas dos rios Solimões e Amazonas, ao sul a savana de Llanos de Mojos e ao norte a savana em Roraima, Venezuela e República da Guiana.



Fonte: Melark et al. (2004)

Um dos maiores blocos de savanas da Amazônia ocorre nas porções norte e nordeste do estado de Roraima, adentra terras da República da Guiana, e com cerca de 53.000 km², sendo 41.000 km² somente em Roraima, estendendo até os limites do rio Rupununi e, por isso, denominado de Complexo Rio Branco-Rupununi (MENESES; DA COSTA, 2012).

Carvalho; Carvalho (2012) estudaram esta região de savana com cenários abrangendo o campo biogeomorfológico e a descrevem como uma área aberta conhecida como lavrado situada na região norte da Amazônia, inserida no Escudo das Guianas que abrange áreas de 69.000 km², situada ao norte do domínio morfoclimático Amazônico, e recobre três países com cerca de 45.000 km² no estado de Roraima no Brasil, 10.000 km² na Venezuela e 14.000 km² na Guiana (Figura 2).

Figura 2 - Áreas de domínio das Savanas (1 - Limite do Lavrado em Roraima; 2 - Venezuela; 3 - Rupununi, Savana da Guiana).



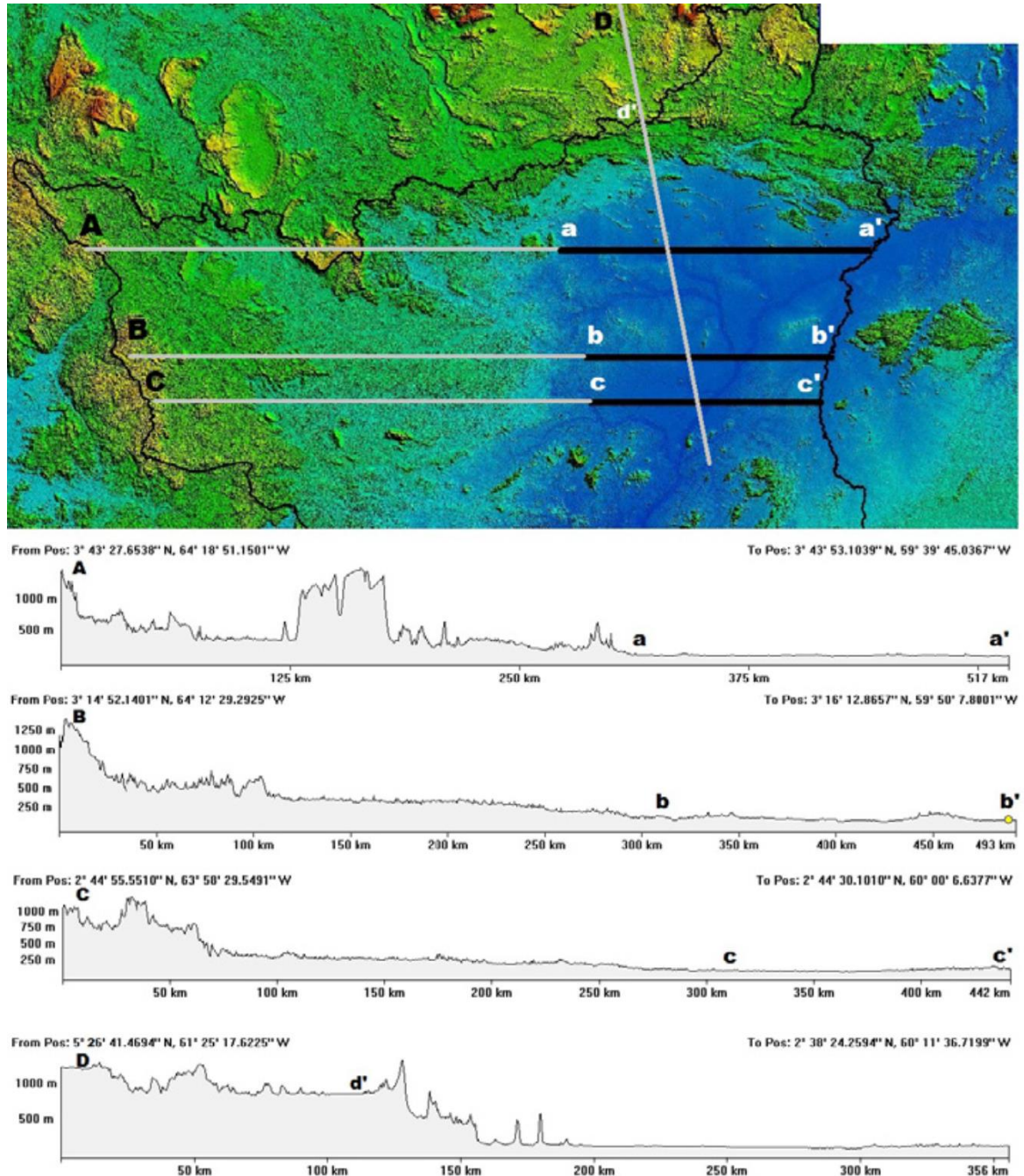
Fonte: Moraes; Carvalho (2015)

Conforme Carvalho; Carvalho (2012), as áreas de savanas na Venezuela estão posicionada a 1200-1600 metros acima do nível do mar, caracteriza-se pela presença de montanhas tabulares, sendo conhecida como Gran Sabana e o Monte Roraima (05 ° 11'S, 60 ° 49'W), com cerca de 2.800 metros de altura, situada na tríplice fronteira de Brasil, Venezuela e Guiana. Na Guiana, a savana situa-se predominantemente na bacia do rio Rupununi, afluente do rio Essequibo principal rio da Guiana. Esta região é conhecida localmente como Savanna do Rupununi, separada da savana de Roraima pelo Rio Tacutu que forma a fronteira do Brasil e Guiana.

Na Figura 3 pode-se observar a posição e perfil topográfico da savana e áreas florestais adjacentes da região em estudo de CARVALHO; CARVALHO (2012), por meio das

linhas transversais que cortam as florestas da parcela ocidental de Roraima até as áreas abertas no Oriente, ou cortando parte da Gran Sabana venezuelana, até áreas de savana.

Figura 3 - Perfil topográfico das transversais em Roraima A, B e C e Venezuela - Roraima, transversal D.



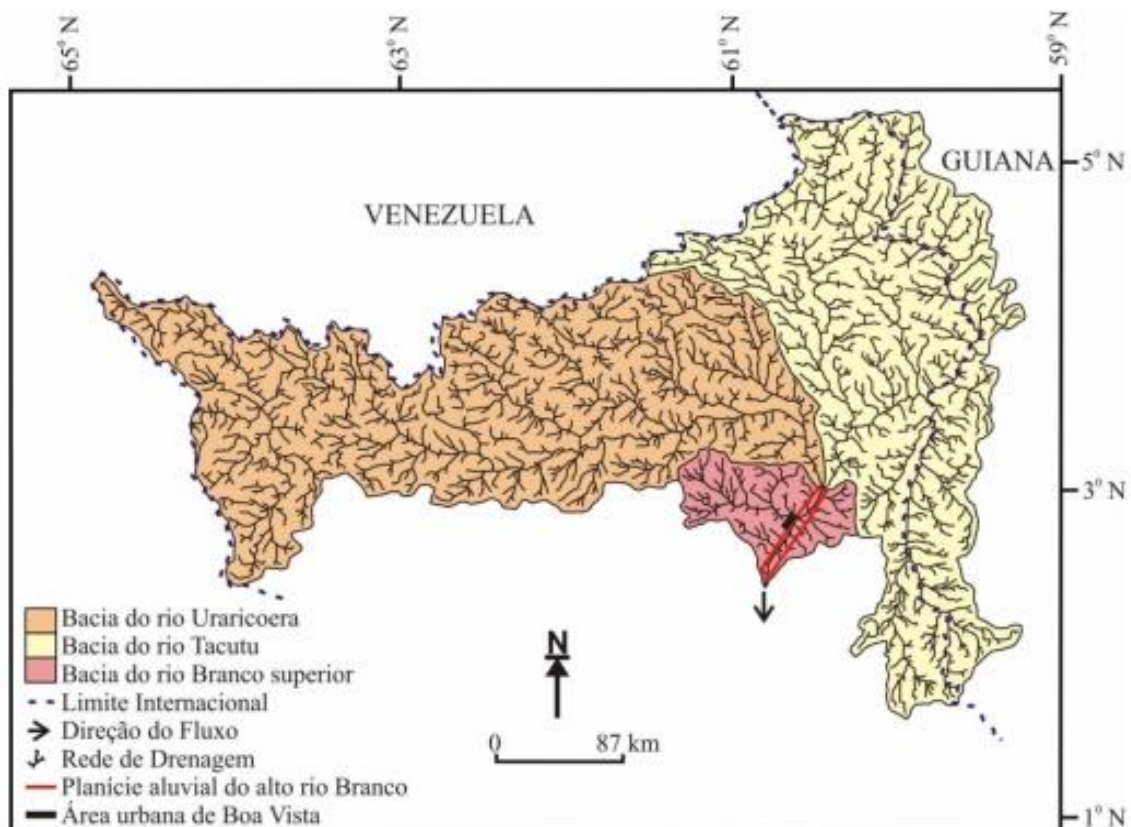
Fonte: Carvalho; Carvalho (2012)

A bacia hidrográfica do rio Branco, região setentrional da bacia amazônica, drena uma área total de 204.640 km², representando a maior parte do estado de Roraima, sendo o rio

Branco o afluente mais importante da margem esquerda do rio Negro (EVANGELISTA; SANDER; WANKLER, 2008; SANDER, 2015), com nascente no extremo oeste de Roraima na bacia do rio Uraricoera, limite com a Venezuela, unindo-se com a bacia do rio Tacutu, que drena a parcela oriental de Roraima e parte ocidental da República Cooperativista da Guiana (EVANGELISTA; SANDER; WANKLER, 2008).

Sander (2015), em estudo da bacia do alto rio Branco, fez uma caracterização de uma área de drenagem aproximada de 100.000 km², que compreende áreas à montante da confluência entre os rios Uraricoera e Tacutu, somando com áreas de bacias menores dos rios Cauamé, Murupú e Água Boa (Figura 4).

Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Alto Rio Branco



Fonte: Sander (2015)

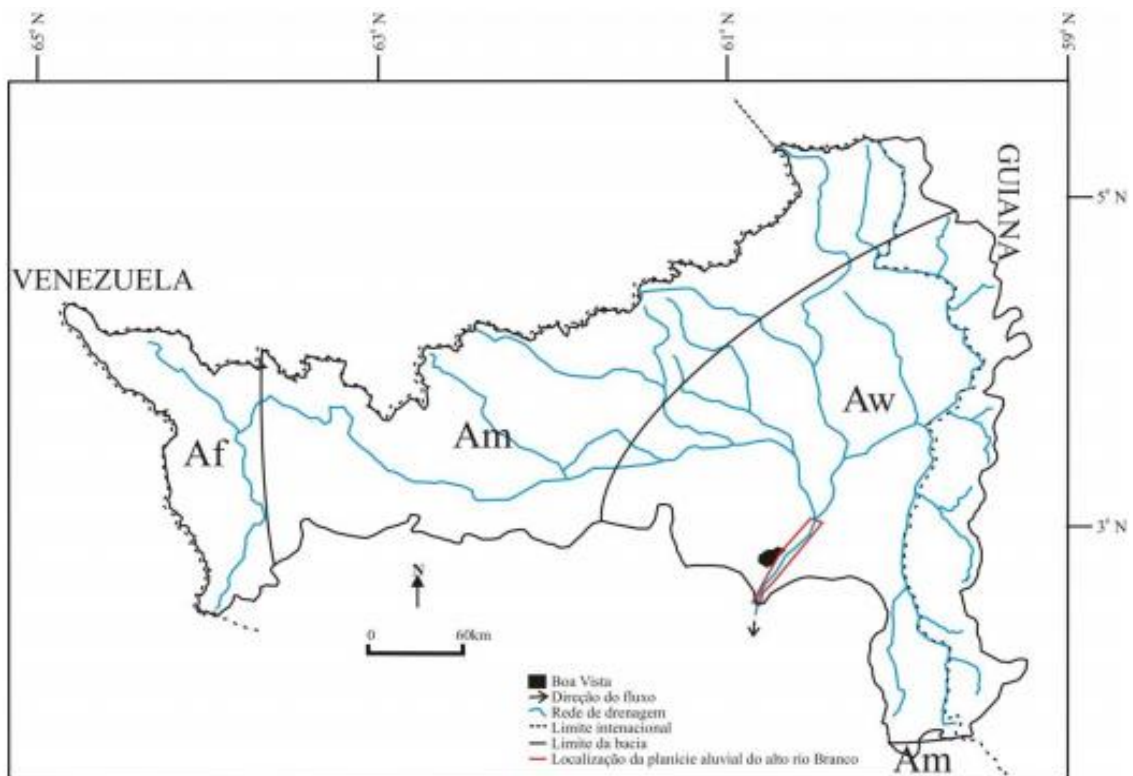
Observa-se na bacia do alto rio Branco, com base na classificação de Köppen, climas dos tipos Aw (clima tropical com inverno seco), Am (clima tropical monçônico) e Af (clima tropical úmido) (SANDER, 2015), conforme Figura 5, e encontra-se os três tipos de disposição climática definidos por Barbosa (1997) no estado de Roraima.

O tipo climático Aw predomina no nordeste do Roraima, parte oriental da bacia do alto rio Branco, em região de savana, 4 meses de período seco e maiores precipitações concentradas nos meses de maio-julho (BARBOSA, 1997).

O tipo climático Am sofre influência das savanas, floresta úmida e dos relevos altos do norte de Roraima, caracteriza-se por estação seca menos rigorosa e chuvas melhores distribuídas ao longo do ano em comparação com o tipo Aw (BARBOSA, 1997; SANDER, 2015).

No extremo oeste da bacia o tipo climático Af, em região característica de floresta tropical, apresenta pouca variação mensal das precipitações médias, embora sendo possível observar meses entre agosto a outubro com índices abaixo da média (BARBOSA, 1997; SANDER, 2015).

Figura 5 - Tipos Climáticos na Bacia do Alto Rio Branco

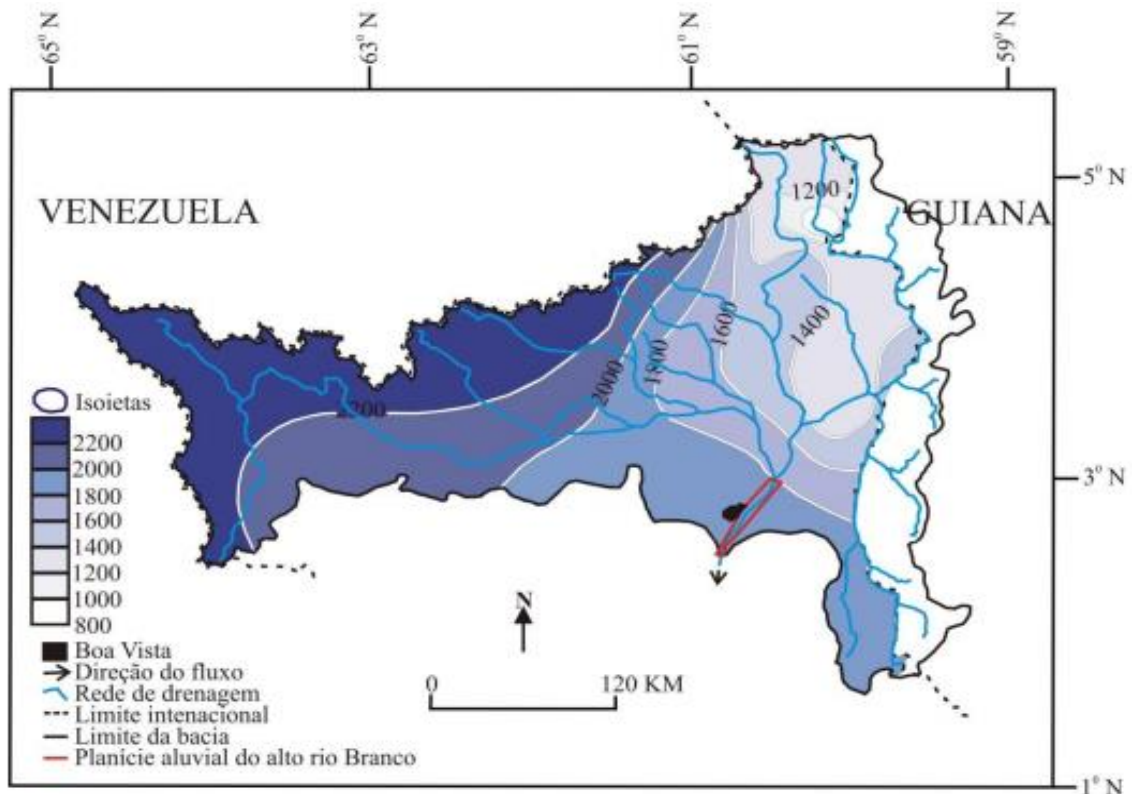


Fonte: Sander (2015)

A Figura 6 apresenta a distribuição das chuvas na bacia, conforme Sander 2015, observa-se maiores valores na parcela ocidental e um decréscimo gradual dos totais anuais precipitados em direção ao leste, com menores valores precipitados na região limite entre Brasil e Guiana, na parcela centro-leste e nordeste da bacia do alto rio Branco, região que

compreende o nordeste de Roraima em fisionomia de Savana. Neste contexto de distribuição de precipitação e área de drenagem, a bacia do rio Uraricoera é a maior contribuinte para a vazão do rio Branco, considerando a proporção de volume de vazão por área drenada em relação à bacia do rio Tacutu (SANDER, 2015).

Figura 6 - Distribuição da precipitação média anual na bacia do alto rio Branco



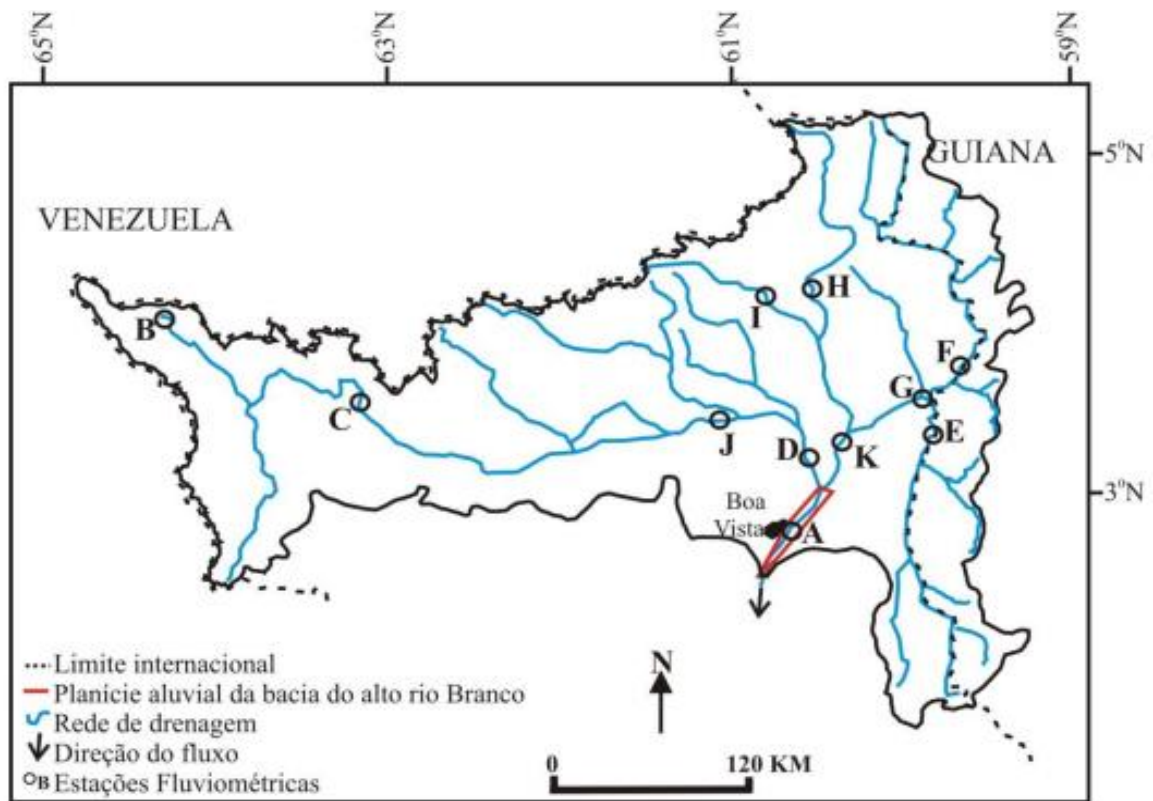
Fonte: Sander (2015)

O comportamento das vazões na bacia do alto rio Branco fora estudado por Sander (2015), considerando o tratamento de dados diários de descarga líquida nas estações apresentadas na figura 7, instaladas nas duas bacias de formação do rio Branco, a bacia do Uraricoera e a do rio Tacutu.

A proporção de descarga na bacia do Uraricoera, que representa a vazão média de longa duração dividida pela área de drenagem do posto, é mais elevada na parcela ocidental, com valores $0,050 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, no rio Auaris, sendo os valores reduzidos progressiva em direção à foz, passando pelas estações do Uaicás ($0,036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) e Cajupiranga ($0,031 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), até atingir uma produção de $0,030 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, na estação Fazenda Passarão, localizada nas imediações da foz do Uraricoera (SANDER, 2015).

Na bacia do Tacutu, Sander (2015) observou uma dinâmica e características distintas em relação ao Uraricoera, com menores valores de produção de descarga da bacia associados o trecho intermediário e superior da bacia, mostrando uma produção média de $0,022 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ na área de influência das estações de Bonfim e Ponte do Tacutu, ambas no rio Tacutu. A produção é maior na sua parcela setentrional, com progressão gradual no sentido leste-oeste, como observado nos rios Maú ($0,023 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), Cotingo (Maloca do Contão) ($0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) e Surumu (Vila Surumu) ($0,033 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$).

Figura 7 - Postos fluviométricos na bacia do alto rio Branco: “A” - Boa Vista; “B” - Auaris; “C” - Uaicás; “D” - Fazenda Passarão; “E” - Bonfim; “F” - Maú; “G” - Tacutu (Ponte Tacutu); “H” - Cotingo (Maloca do Contão); “I” - Surumu (Vila Surumu); “J” - Cajupiranga; “K” - Fazenda Paraíso



Fonte: Sander (2015)

Ribeiro et al. (2017), em estudo na bacia do rio Surumu, um dos principais afluentes do rio Tacutu, encontraram comportamento similar aos apontados por Sander (2015) para produção de descargas dos postos fluviométricos do rio Cotingo (Maloca do Contão) com $0,025 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ e do rio Surumu (Vila Surumu) com $0,031 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. O posto fluviométrico Fazenda Bandeira Branca no rio Cotingo a montante do posto

Maloca do Cantão, também foi caracterizado sua produção de descargas por Ribeiro et al. (2017), encontrando valores de $0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Outras vazões de referência como a $Q_{7,10}$ (vazões mínimas, com a duração de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno), a Q_{90} (vazão que em 90% do tempo o curso d'água apresentou vazões maiores ou iguais a ela) e as vazões médias foram apresentadas em Ribeiro et al. (2017) para os postos fluviométricos da bacia do rio Surumu, além da transformação destas em vazões específicas quando divididas por suas respectivas áreas de contribuição, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Vazões de referência para postos fluviométricos na bacia do rio Surumu.

Postos fluviométricos	Área Acumulada (km^2)	Vazões de Referência ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)				Vazões específicas ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)	
		Máxima	Média	$Q_{(7,10)}$	$Q_{(90)}$	$Q_{(7,10)\text{Esp}}$	$Q_{(90)\text{Esp}}$
Faz. Bandeira Branca	3.210,7	922,12	88,95	6,93	18,95	0,00188	0,00513
Maloca do Contão	5.771,4	2.025,48	144,49	8,79	21,02	0,00152	0,00364
Vila Surumu	2.267,3	1.052,51	69,87	2,77	7,09	0,00122	0,00313

Fonte: Ribeiro et al. (2017)

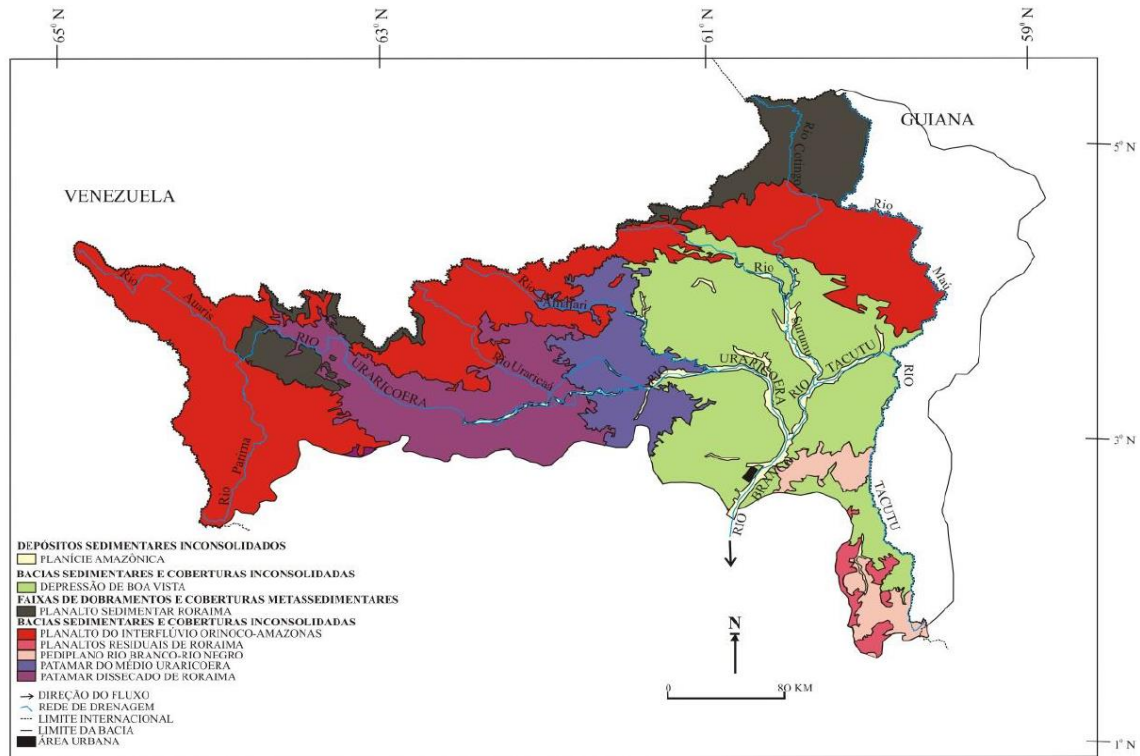
4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICO

A bacia do alto rio Branco é composta por 8 unidades geomorfológicas, compreendendo assim as unidades em: Planalto do Interflúvio Amazonas - Orenoco; Planaltos Residuais de Roraima; Pediplano Rio Branco-Rio Negro; Patamar do Médio Uraricoera; Patamar Dissecado de Roraima; Planalto Sedimentar de Roraima; Depressão de Boa Vista e Planície Amazônica (Figura 8) (SANDER, 2015).

As unidades morfoestruturais citadas por Sander (2015) são identificadas por autores como Beserra Neta; Tavares Júnior (2008); Silva et al. (2009) em trabalho abrangendo total ou parcial a área de estudo.

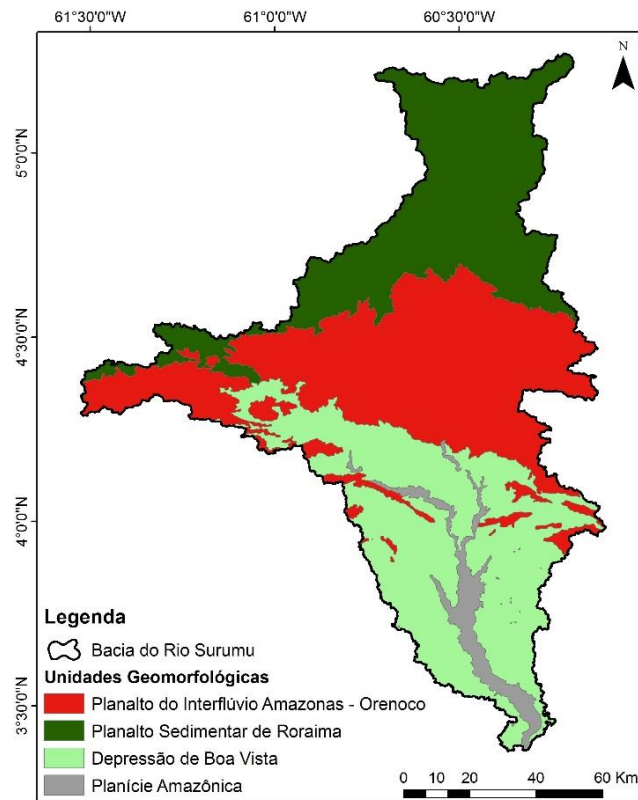
Na bacia do rio Surumu, região nordeste da bacia do alto rio Branco, são observadas 4 unidades morfoestruturais descritas em: Planalto do Interflúvio Amazonas - Orenoco; Planalto Sedimentar de Roraima; Depressão de Boa Vista e Planície Amazônica (Figura 9).

Figura 8 - Unidades Geomorfológicas na bacia do alto rio Branco



Fonte: Sander (2015)

Figura 9 - Unidades Geomorfológicas na bacia do rio Surumu (Modificado de IBGE, 2009)



Fonte: o Autor

O Planalto do Interflúvio Amazonas - Orenoco abrange o extremo Oeste da bacia do alto rio Branco, cruzando praticamente todo o Norte na divisa entre Roraima e Venezuela, em trajetória latitudinal, seguindo assim até a Guiana. Exceção a isso é a parcela Nordeste da bacia, na área drenada pelos trechos superiores dos rios Cotingo (afluente do rio Surumu) e Mau, assim como parte do limite Norte (na região do alto Uraricoera), área que está associada aos domínios do Planalto Sedimentar de Roraima (SANDER, 2015).

Beserra Neta; Tavares Júnior (2008), Silva et al. (2009) e Sander (2015) descrevem o Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco, como formado por conjuntos de montanhas com altitudes que variam entre 600 e 1.200m, as quais se estendem preferencialmente de NE-SW, sendo o relevo da região marcado por formas dissecadas em cristas e colinas ravinadas, de forte declive, vales encaixados.

No extremo Nordeste do Estado, além de trechos posicionados na parcela oriental da região noroeste da bacia do alto rio Branco, predomina o Planalto Sedimentar de Roraima (SANDER, 2015) e assim como o Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco, constitui o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Amazonas (Brasil) e Orenoco (Venezuela) (CPRM, 1999; BESERRA NETA; TAVARES JÚNIOR, 2008, SANDER, 2015).

Classificado em categorias morfológicas de relevos tabulares e os “hog backs”, o Planalto Sedimentar associa-se a morfologia aos platôs horizontais a sub-horizontalizados, constituindo relevos residuais elaborados em rochas sedimentares do Paleoproterozóicas, relacionadas ao Supergrupo Roraima e correlatos (Formação Tepequém). Esses são compostos pelas estruturas do Monte Roraima, as serras do Tepequém e Uafaranda, as quais apresentam altitudes entre 1.100 e 2.734m, exibindo contornos de escarpas erosivas (SANDER, 2015).

Os “hog backs” com altitudes médias variando entre 1.200 e 1.600m, destacando-se num relevo colinoso do Planalto Sedimentar no extremo nordeste do estado, região do alto curso dos rios Cotingo, Uailam e Maú (BESERRA NETA; TAVARES JÚNIOR, 2008, SANDER, 2015).

Localizada na região centro-leste da bacia do alto rio Branco a unidade Depressão Boa Vista compreende os terrenos mais recentes da bacia, sendo ao norte limitada pelo Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco, a oeste com o Patamar do Médio Uraricoera, ao sul com o Pediplano Rio Branco – Rio Negro e os Planaltos Residuais de Roraima e se constitui na região com a maior densidade populacional de Roraima (SANDER, 2015).

A Depressão Boa Vista é caracterizada por superfícies aplainadas, encoberta por vegetação de savanas, compostas por gramíneas rasteiras e arbustos esparsos, altitudes

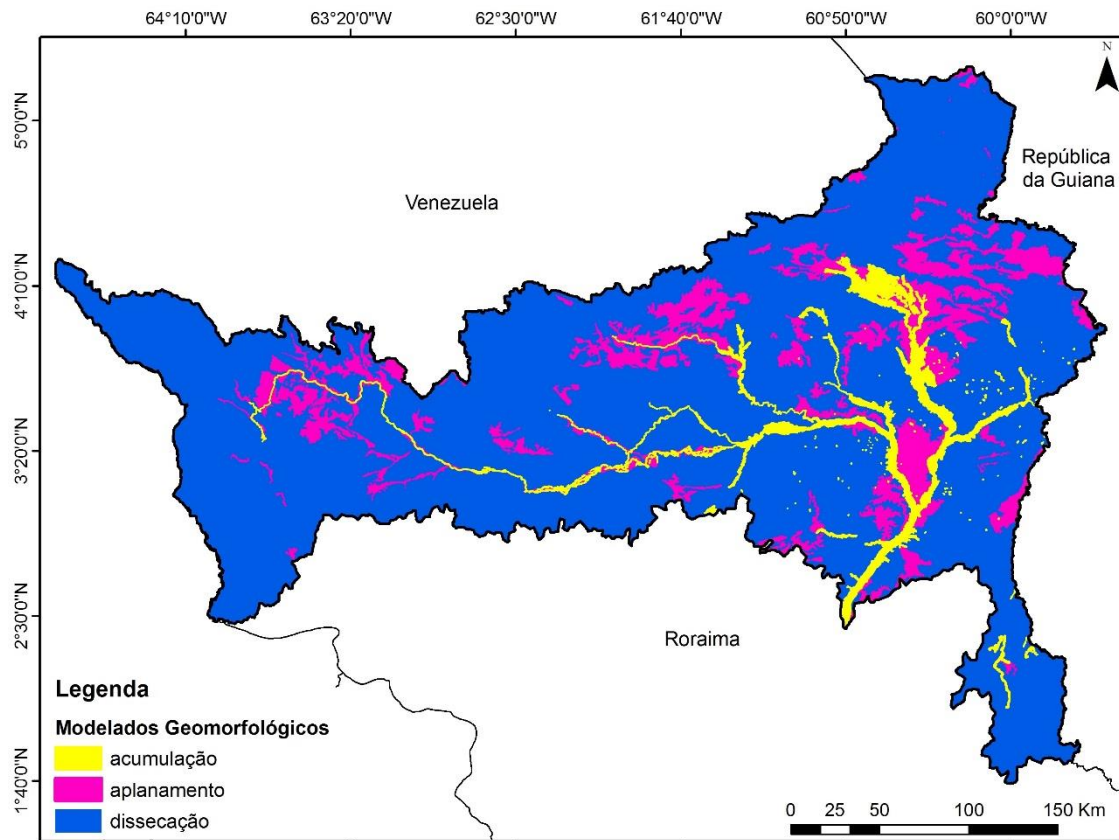
variando de 80 a 100 metros, sustentada principalmente por extensas manchas de solos hidromórficos (neossolos quartzarênicos) (SILVA et al., 2009, SANDER, 2015), sendo observados morros com morfologia representada por topos convexos, vertentes côncavas – convexas com acúmulos de sedimentos na base, formando talus, elaborados em rochas de composição basáltica da formação Apoteri (SILVA et al., 2009).

O dinamismo das várias formas de relevo manifesta-se ao longo do tempo e do espaço de modo diferenciado e assim de acordo com a intensidade dos processos morfogenéticos que agem sobre as formas de relevo, é possível identificar áreas em que predominam as incisões, locais em que há o acúmulo de materiais (MICHELON; WERLANG, 2004). Além da classificação geomorfológica referente às estruturas, regiões e unidades, são também tratados os tipos de modelados dos fatos geomorfológicos mapeando-os conforme sua forma de acumulação, aplanamento, dissecação e dissolução (IBGE, 2009).

Os modelados de relevo de dissecação são característicos de áreas com declividades acentuadas, onde a evolução do relevo se processa por meio da erosão provocada pelos rios. Os modelados de acumulação são estabelecidos em áreas planas e por este motivo propícias a inundações, elaborado pela deposição de material que foi retirado e transportado ação da rede de drenagem. Já os modelados de aplanamento configuram áreas residuais, localizando-se preferencialmente nas bordas dos divisores d'água (MICHELON; WERLANG, 2004, IBGE, 2009).

O mapeamento dos tipos de modelados (IBGE, 2009) localizados na bacia do alto rio Branco mostra a intensiva presença do processo de dissecação agindo sobre as formas de relevo da bacia, seguindo por modelados de aplanamento difusos na bacia e o de acumulação compondo as várzeas dos sistemas principais de drenagem os rios Branco, Uraricoera, no trecho alto e baixo do rio Tacutu e médio e baixo Surumu (Figura 10).

Figura 10 - Tipos de Modelados na bacia do alto rio Branco (Modificado de IBGE, 2009)

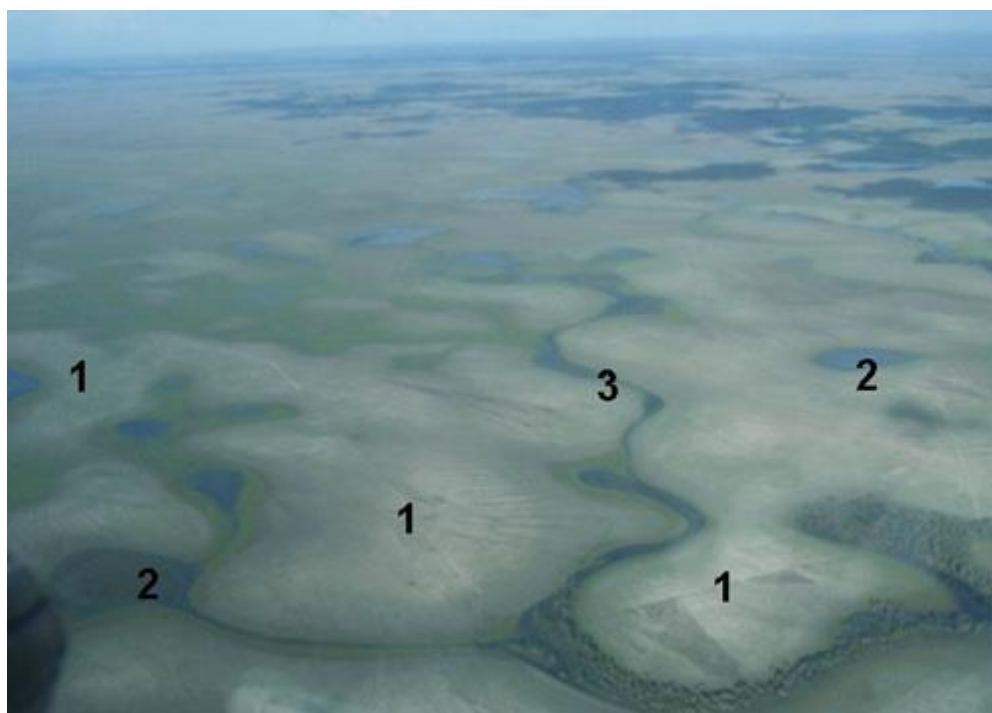


Fonte: o Autor

A paisagem da porção nordeste do estado de Roraima, que também é nordeste da bacia do alto rio Branco, trata-se de um sistema hidrogeomorfológico, oriundo de processos agradacionais e denudacionais, formando extensas planícies regionais de aplainamento e sistemas recuantes erosivos (MORAIS; CARVALHO, 2015), sendo formada por uma superfície aplanada, vegetada por savanas, onde se desenvolvem inúmeros lagos, brejos e veredas colonizadas por *Mauritia flexuosa* (MENESES; DA COSTA; COSTA, 2007).

As áreas de lavrado com declividade predominante de 5 - 8° são compostas por um sistema de montes baixos, com relevo dissecado, picos residuais isolados (Inselbergs) e sistema de drenagem cercado por lagos nas cabeceiras (Figura 11) separados dos igarapés por pequenas elevações, conhecidas como tesos (CARVALHO; CARVALHO, 2012).

Figura 11 – Geomorfologia típica da Savana: 1. Tesos (morfologias convexas); 2. Lagos; e 3. Margem do sistema de drenagem



Fonte: Carvalho; Carvalho (2012)

No lavrado, há formação de lagos que possuem formas variadas, entretanto, predominam as goticulares, circulares, elipsoidais e geminadas, estando geralmente relacionados aos pequenos cursos d'água (igarapés) constituindo suas cabeceiras (MENESES; DA COSTA; COSTA, 2007; CARVALHO; CARVALHO, 2012; MORAIS; CARVALHO, 2015).

Como estas bacias lacustres são pequenas, rasas e de nível d'água sazonalmente controlado, no período de estiagem vários lagos, brejos e veredas secam. As feições lacustres externas e internas sugerem que a ocorrência destes lagos no ambiente plano das savanas relaciona-se ao afloramento do lençol freático, que dentro dessa sazonalidade intercepta as depressões do terreno, ou aflora nas áreas planas da superfície (MENESES; DA COSTA; COSTA, 2007; CARVALHO; CARVALHO, 2012).

Meneses; Da Costa; Costa (2007) afirmam que nos lagos em estudo, ao contrário da maioria dos lagos do território brasileiro, em particular do amazônico, não são produtos de atividades fluviais. As análises granulométricas aliadas às mineralógicas e químicas realizadas por Meneses; Da Costa; Costa (2007) indicam que os sedimentos estudados derivaram da Formação Boa Vista, e não têm qualquer relação com os sedimentos da planície de inundação do rio Branco.

A unidade morfoestrutural Planície Amazônica se apresenta na área de influência e adjacências dos principais cursos fluviais de Roraima, em particular na bacia do alto rio Branco os depósitos são encontrados no médio e baixo trecho dos rios Uraricoera, Tacutu e trecho inferior do rio Surumu, constituídos de planícies ativas e terraços fluviais abandonados (SANDER, 2015). É definida por ser uma forma de acumulação constituída por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados (neossolos flúvicos) e periodicamente encobertos pelas cheias dos rios, enquanto no período seco a paisagem incorpora a presença de lagos e paranás (SANDER, 2015).

4.4 HIDROLOGIA E MODELOS HIDROLÓGICOS EM GRANDES BACIAS

O conhecimento sobre possíveis cenários climático-hidrológicos futuros e as suas incertezas pode ajudar a estimar demandas de água no futuro e também a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para o futuro (MARENGO, 2006)

As ações antrópicas são responsáveis por modificações consideráveis no ambiente de bacias hidrográficas, tendo em vista sua influência quantitativa e qualitativa direta sobre os processos hidrológicos (ANDRADE; MELO; BESKOW, 2013). Modelos hidrológicos são ferramentas importantes na avaliação e simulação de eventos, associando componentes de entrada e saída do ciclo hidrológico as características fisiográficas e de uso de bacias hidrográficas. Sua utilização proporciona analisar possíveis impactos das mudanças antrópicas no regime hídrico de bacias hidrográficas (MARENGO et al., 2008, PAIVA, 2009, BAYER; COLLISCHONN, 2013).

Como em outras grandes bacias hidrográficas, a Amazônia apresenta problemas com respeito à obtenção de dados para a realização adequada da modelagem hidrológica e para a avaliação quantitativa dos principais componentes do ciclo hidrológico. Um agravante da Amazônia refere-se ao fato de algumas de suas sub-bacias estarem localizadas em mais de um país (NETO et al. 2008).

Associada à escassez de dados, outro fator complicador da modelagem hidrológica na Amazônia, é a complexidade dos processos hidrológicos da bacia, tais como a evapotranspiração, umidade do solo e geração do escoamento, os quais estão inter-relacionados. A grande dimensão espacial envolvida exige o uso de uma parametrização adequada para representar esses processos na macroescala (NETO et al. 2008).

Modelos hidrológicos de base física são uma das principais ferramentas para (i) auxiliar na compreensão dos processos hidrológicos e sua relação com outros processos geofísicos, e para (ii) servir de base de Sistemas de Previsão Hidrológica visando à redução da vulnerabilidade da população local a eventos extremos (PAIVA, 2013).

Para Neto et al. (2008), a modelagem hidrológica de grande escala na Amazônia tem sido realizada com diferentes objetivos e diferentes níveis de complexidade, e com avanços significativos em escala temporal de simulação, passando de mensal para diário a modelagem hidrológica.

As grandes bacias hidrográficas (> 10.000 km²) possuem os mais variados efeitos de clima, geologia e antrópicos (PAIVA, 2009). A Amazônia é uma região que sofre importantes impactos antrópicos devido à expansão do desenvolvimento econômico (NETO et al. 2008).

Para avaliações de efeitos de longo prazo a atribuição de causas de alterações observadas tem importância fundamental. Os resultados em Silva Dias; Cohen; Gandú (2005) apontam para possíveis processos físicos que estão sendo alterados pelo desmatamento e pelas queimadas. A real dimensão dos efeitos dessas atividades antrópicas ainda depende de avaliação mais ampla espacialmente e extensa temporalmente.

Marengo (2006) estabelece que o balanço hídrico se comporta em diferentes direções, dependendo da região amazônica, sendo bem estabelecido o papel da floresta amazônica no ciclo de água na bacia, mas ainda são necessários estudos com um foco regional e com diagnósticos mais detalhados que podem quantificar os componentes do balanço hídrico e as taxas de reciclagem locais.

Embora as médias de variáveis hidrológicas em grandes áreas possam mostrar tendências estatisticamente significativas em uma ou outra direção, variabilidade interanual é aumentada para regiões como o norte da Amazônia e essa variabilidade parece estar ligado mais as causas naturais do que o impacto do uso da terra em consequência do desmatamento (MARENGO, 2006).

Apesar dos avanços nos estudos de modelagem obtidos nas últimas duas décadas, a representação numérica dos processos convectivos úmidos e a capacidade de simular o volume de precipitação regional e suas anomalias ainda é um desafio atual para a comunidade científica, particularmente para as regiões tropicais, a exemplo da Amazônia (DE SOUZA et al. 2009).

A natureza na sua estrutura topológica organiza-se geograficamente nas bacias hidrográficas de forma organizada e eficiente, não existindo lacunas ou superposições; onde

as unidades menores se combinam topologicamente, de uma forma aninhada, para originar bacias maiores (RIBEIRO et al., 2008).

Villar et al. (2009) analisam a variabilidade da precipitação na bacia do Amazonas de 1964 a 2003, em estudo baseado em 756 estações pluviométricas distribuídas nos países, incluindo pela primeira vez dados da Bolívia, Peru, Equador e Colômbia, tornando possível completar estudos anteriores.

A média de chuvas na bacia diminuiu durante o período de 1975 - 2003 a uma taxa anual estimada em 0,32%, e testes mostram que esta redução foi particularmente importante desde 1982, sendo importante para identificar o impacto do clima na hidrologia da bacia, quando associado com outras informações (VILLAR et al. 2009).

Ao longo do tempo, com o interesse do uso dos recursos hídricos e o incremento de massa crítica na região amazônica, estudos cada vez mais frequente são desenvolvidos objetivando entender a dinâmica de suas águas e a importância para seus ecossistemas, mesmo em bacias com baixa densidade de informações.

Richey; Cabral; Santiago (2004) conseguiram modelar a Bacia do rio Madeira com 60.000 km² e a bacia do rio Juruá modelada por Victoria et al. (2005).

Na bacia Amazônica, o desafio para modelagem hidrológica é a simulação do fluxo rio-várzea predominante na região, e causador dos efeitos de ondas de cheia subcrítica e difusa, estudado por Trigg et al. (2009). A influência das várzeas de inundação no processo de propagação de cheias em grande escala foi conclusiva em Paiva; Collischonn; Tucci (2011a) e Paiva (2013) e na dinâmica sedimentar por Bourgoïn et al. (2007).

O desempenho de um modelo hidrológico-hidrodinâmico de grande escala na simulação de diferentes variáveis hidrológicas, como vazões, níveis d'água, extensão de áreas alagadas e armazenamento d'água, na bacia Amazônica é apresentado por Paiva (2013).

A busca do entendimento das estimativas e previsões de precipitações, o papel das várzeas de inundação, a variabilidade temporal do armazenamento total de água, o efeito das mudanças climáticas, as mudanças do uso do solo, as previsões de vazões, a geração de dados de entrada para sistemas de suporte a decisão, o planejamento de bacias hidrográficas e o papel da hidráulica dos rios e várzeas de inundação na propagação de ondas de cheias ao longo dos rios são temas de avaliação de modelos hidrodinâmico de grande escala em estudos como Collischonn (2001); Collischonn et al. (2007); Collischonn; Collischonn; Tucci (2008); Paiva (2009); Bayer; Collischonn (2013); Paiva et al. (2013); Fan; Collischonn (2014); Fan et al. (2015); Pontes et al. (2015); Adan et al. (2015).

O modelo de grandes bacias MGB-IPH é um modelo distribuído concebido para simular processos hidrológicos em bacias de grande escala, descrevendo a distribuição espacial dos processos hidrológicos e a influência da vegetação nestas bacias (COLLISCHONN; TUCCI, 2001; PAIVA, 2013; BAYER, 2014), com modelo de discretização que divide a bacia hidrográfica a ser representada em pequenas unidades denominadas minibacias, sendo estas divididas em diferentes unidades de resposta hidrológica (URH), de acordo com os tipos de solo e de vegetação (FAN et al., 2015).

Paiva et al. (2013) usam modelagem hidrológica-hidrodinâmica, através do modelo MGB-IPH, com técnicas que se enquadram no estado da arte da modelagem física/conceitual de grandes bacias e sensoriamento remoto de variáveis hidrológicas, objetivando avaliar as limitações e as principais fontes de erros da modelagem de variáveis hidrológicas na bacia Amazônica.

O modelo MGB-IPH com o módulo hidrodinâmico foi capaz de representar os principais processos hidrológicos da bacia Amazônica, reproduzindo de forma satisfatória os hidrogramas em diferentes escalas espaciais, especialmente nos grandes rios, além de concordâncias nas simulações de níveis d'água, extensão de áreas alagadas e variação no armazenamento d'água terrestre (PAIVA et al., 2013).

A sensibilidade do modelo aos dados de precipitação e a parâmetros relacionados à geometria de rios e várzeas de inundação foram observados por Paiva et al. (2013), bem como os erros de simulação ocorridos em áreas montanhosas e/ou pouco monitoradas, onde, possivelmente, existem erros importantes nos dados de precipitação utilizados.

As estimativas de precipitação pluvial do produto nominado de 3B43 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) são boa fonte alternativa de dados para a região Amazônica, segundo os parâmetros estatísticos, representando bem a variabilidade sazonal da precipitação pluvial no período de estudo (COLLISCHONN et al., 2008; PAIVA et al., 2011b; ALMEIDA et al., 2015), auxiliando em estudos pluviométricos de regiões com baixa densidade de informações de superfície, bem como no preenchimento de falhas e homogeneização dos dados de precipitação em estações meteorológicas convencionais.

Silva et al (2012), usando dados de altimetria registrados pelo radar altímetro RA-2 a bordo da missão ENVISAT, permitiram a quantificação das variações espaciais e temporais em zonas úmidas sazonais e rios de bacias hidrográficas, com medições referenciados a um sistema único em toda a bacia. Isto permite uma visão de toda a bacia dos vários ciclos sazonais, bem como a distribuição geral altitude no espaço e no tempo dos diferentes corpos d'água que compõem a bacia amazônica.

A limitação no uso de modelos hidrológicos distribuídos em gestão de recursos hídricos é a falta de dados detalhados, especialmente de dados topográficos. Diferentes modelos hidrológicos distribuídos, por exemplo, o TOPMODEL (Topography Based Hydrological Model) com atrativos na necessidade do conhecimento de um pequeno número de parâmetros de entrada associado a um razoável embasamento teórico (SIMÕES, 2013; HOLLANDA et al., 2015).

Em muitas regiões do Brasil, não há pesquisas nacionais ou regionais consistentes de dados topográficos que poderia fornecer informações detalhadas sobre as características geomorfológicas da bacia hidrográfica (SIMÕES, 2013). Neste contexto são observados o uso de novas ferramentas de geotecnologias como o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que é amplamente utilizado como fonte de Modelo Digital de Elevação (MDE).

Seca e baixa vazão afetam muitos setores e ocorrem em todos os países embora em diferente intensidade percebida. Há uma grande variedade de consequências relacionadas com baixo fluxo, seca e monitoramento e a modelagem são cruciais para a sua análise e previsão. No entanto, os fluxos baixos são mal reproduzida por muitos modelos hidrológicos uma vez que estes são tradicionalmente concebido para simular a resposta para o escoamento da chuva (STAUDINGER et al., 2011).

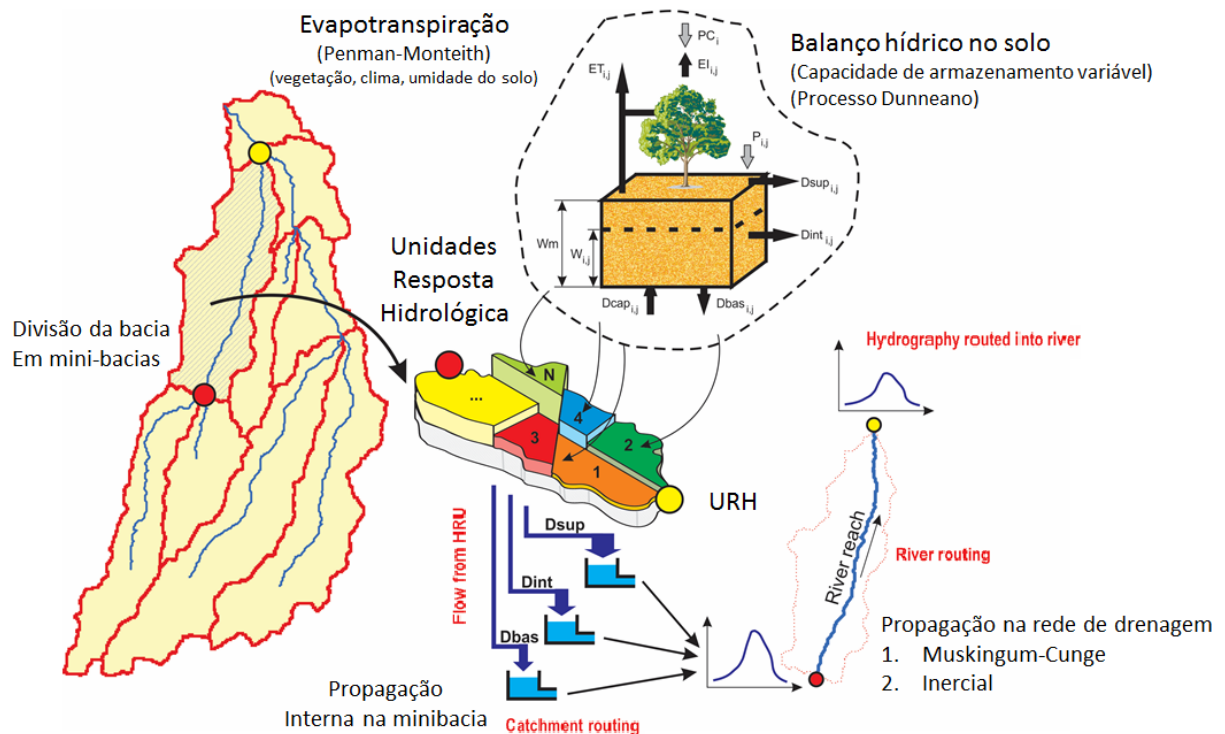
É comum o desenvolvimento recente de modelagem utilizando diferentes tipos de abordagens que visem suficientemente representando processos físicos considerando aspecto computacional e dados de entrada com limitações (NETO et al. 2008; PAIVA, 2013)

A hidrodinâmica do rio é geralmente representada por simplificações das equações de Saint Venant, incluindo uma relação simplista entre o armazenamento do volume de água e descarga (PAIVA et al., 2013).

No processo hidrodinâmico do rio são considerados modelos de propagação de cheia como os modelos de ondas cinemáticas, descritos por Decharme et al. (2011) e Getirana et al. (2012) ou os métodos tipo de Muskingum Cunge, conforme Collischonn et al. (2008) e Beighley et al., (2009) e ainda os modelos difusivos de onda de cheia capaz de representar o efeito do remanso, apresentado em Yamazaki et al. (2011) ou o modelo hidrodinâmico em Paiva; Collischonn; Tucci (2011a) e Paiva (2013).

Paiva et al. (2013) apresentaram uma modelagem hidrológica-hidrodinâmica na bacia do Rio Amazonas utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH (Modelo de Grandes Bacias), descrito em Collischonn et al. (2007), com um módulo hidrodinâmico rio-planície acompanhado de uma modelo de armazenamento de várzea apresentado por Paiva (2013), conforme representação esquemática na Figura 12.

Figura 12 - Representação esquemática do modelo hidrológico MGB-IPH acompanhado do modelo hidrodinâmico.



O modelo de discretização das áreas em estudo é a divisão da bacia em pequenas bacias hidrográficas usando ferramentas GIS, sendo estas associadas em unidades de resposta hidrológica (URHs), que são áreas com comportamento hidrológico similar definidas por uma combinação de mapa de solo e cobertura da terra (PAIVA, 2013; FAN et al., 2015).

Partes importantes nos estudos de hidrologia, a delimitação de bacias hidrográficas, geração da rede de drenagem e determinação de características hidráulicas de um rio, são obtidas com o processamento de modelos digitais de elevação (MDEs) em softwares comerciais de SIG, como o ArcGIS e o IDRISI (SIQUEIRA et al., 2016).

Nos últimos anos, pacotes de SIG para uso livre e de código aberto, como o IPH-Hydro Tools, foram criados para facilitar a aquisição de informações topológicas em bacias hidrográficas, bem como realização de etapas de pré-processamento em modelos hidrológicos a exemplo do MGB-IPH (FAN; COLLISCHONN, 2014; SIQUEIRA et al., 2016)

Para avaliar a aplicabilidade e o desempenho do IPH-Hydro Tools, Siqueira et al. (2016) realizaram testes específicos, através da comparação dos resultados do IPH-Hydro Tools em relação a outros pacotes de SIG (ArcGIS, IDRISI, WhiteBox) disponíveis para esta finalidade.

O IPH-Hydro Tools apresentou qualidade de rede de drenagem geralmente superior aos demais pacotes e menor tempo de processamento necessário para delimitação de bacias, apesar de algumas limitações como incompatibilidade em relação a matrizes muito grandes e dificuldade na representação da rede de drenagem em áreas extensas de mesma cota (SIQUEIRA et al., 2016).

Os processos representados no MGB-IPH (Figura 12) são associados ao balanço hídrico no solo com parâmetros de interceptação, a evapotranspiração, os escoamentos superficiais, sub-superficiais e subterrâneos nas minibacias e a dinâmica do escoamento na rede de drenagem, onde a vazão de saída das minibacias é encaminhada à rede de drenagem, sendo propagada pelo método de Muskingum-Cunge ou pelo modelo hidrodinâmico unidimensional completo (COLLISCHONN et al., 2007; PAIVA, 2009; PAIVA et al., 2013; BAYER, 2014).

As minibacias são atribuídas informações como: URH a que estão associadas, sem considerar sua localização na minibacia, mas sim seu percentual de área em cada minibacia; dados de precipitação, de temperatura do ar, de umidade relativa, de velocidade do vento, de insolação e de pressão atmosférica (PAIVA, 2013; BAYER, 2014).

A metodologia utilizada no módulo de balanço hídrico do solo descrito pela equação 1, sendo computados independentemente para cada URH na célula discretizada, considerando uma camada de solo, podendo ser observado na Figura 12.

$$W_{i,j}^t = W_{i,j}^{t-1} + (P_{i,j} - ET_{i,j} - D_{Sup_{i,j}} - D_{Ssub_{i,j}} - D_{Sub_{i,j}} + D_{CAP_{i,j}}) \times \Delta t \quad (1)$$

Sendo $W_{i,j}$ (mm) é a capacidade de armazenamento de água no solo (parâmetro calibrável); $P_{i,j}$ (mm.dia⁻¹) é a precipitação que atinge o solo; $ET_{i,j}$ (mm.dia⁻¹) é a evapotranspiração; $D_{Sup_{i,j}}$ (mm.dia⁻¹) é o volume gerado de escoamento superficial; $D_{Ssub_{i,j}}$ (mm.dia⁻¹) é o volume gerado de escoamento subsuperficial; $D_{Sub_{i,j}}$ (mm.dia⁻¹) é o volume gerado de escoamento subterrâneo, ou recarga do aquífero; $D_{CAP_{i,j}}$ (mm.dia⁻¹) é o fluxo ascendente o reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo; Δt (dia) é o intervalo de tempo.

A precipitação (PC) é assumida para representar a água armazenada na superfície da vegetação até capacidade máxima de armazenamento de interceptação é atingido, determinado para cada URH. A energia da evapotranspiração da água do solo e vegetação para a atmosfera é estimado pela equação de Penman-Monteith como segue na equação 2.

$$ET = \left(\frac{\Delta \cdot A + \rho_A \cdot c_p \cdot \frac{D}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot \rho_w} \quad (2)$$

Sendo Δ (kPa.°C⁻¹) a taxa de variação da pressão de saturação do vapor, A (MJ.m⁻².s⁻¹) a é a energia disponível, ρ_A (kg.m⁻³) a massa específica do ar; c_p (MJ.m⁻².s⁻¹) é o calor específico do ar úmido; D (kPa) é o déficit de pressão de vapor; r_a (s.m⁻¹) é a resistência aerodinâmica; γ (kPa °C⁻¹) é a constante psicrométrica; r_s (s.m⁻¹) é a resistência da superfície da cobertura da terra; λ (MJ.kg⁻¹) o calor latente de vaporização; ρ_w (kg.m⁻³) a massa específica da água. As condições meteorológicas (temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, precipitação, umidade relativa e pressão atmosférica) são prescritos para cada bacia.

O escoamento superficial D_{sup} é calculado considerando que toda a chuva que precipita sobre uma porção de solo já saturada de umidade gera escoamento superficial. O modelo considera que existe uma relação entre W , que é o estado de armazenamento atual da camada de solo e a porcentagem de área saturada (TODINI, 1996), calculado pela equação 3 e 4.

Se $\delta \leq 0$, então:

$$D_{Sup_{i,j}} = \Delta t \times P_i - (Wm_j - W_{i,j}^{k-1}) \quad (3)$$

Quando $\delta > 0$, temos:

$$D_{Sup_{i,j}} = \Delta t \times P_i - (Wm_j - W_{i,j}^{k-1}) + Wm_j \times (\delta)^{b_j+1} \quad (4)$$

$$\text{sendo: } \delta = \left[\left(1 - \frac{W_{i,j}^{k-1}}{Wm_j} \right)^{\frac{1}{b_j+1}} - \frac{\Delta t \times P_i}{(b_j+1) \times Wm_j} \right]$$

Tem-se que: W_j (mm) é o armazenamento na camada do solo, Wm_j (mm) é o armazenamento máximo na camada do solo, b é um parâmetro adimensional que representa a não-uniformidade da capacidade de armazenamento do solo no bloco, P_i (mm) é a precipitação menos a interceptação e $D_{Sup_{i,j}}$ (mm) é o escoamento superficial.

O escoamento subsuperficial (D_{int}) é obtido por uma relação não linear com o armazenamento na camada de solo (equação 5), baseada na equação da condutividade hidráulica do solo (PAIVA, 2013).

$$D_{Sup_{i,j}} = K_{int_j} \times \left(\frac{W_{i,j} - W_{z_j}}{W_{m_j} - W_{z_j}} \right)^{\left(3 + \frac{2}{XL}\right)} \quad (5)$$

Onde: W_z (mm) é o limite de armazenamento para haver escoamento subsuperficial, K_{int} (mm) é o parâmetro de escoamento subsuperficial, XL é o índice de porosidade do solo (parâmetro) e D_{int} (mm) é o escoamento subsuperficial.

Percolação da camada de solo para as águas subterrâneas (D_{sub}) é calculado de acordo com uma relação linear simples entre o armazenamento de água no solo e máximo capacidade de armazenamento de água deste solo, conforme Equação 6.

$$D_{Sub_{i,j}} = K_{bas_j} \times \left(\frac{W_{i,j}^{k-1} - W_{c_j}}{W_{m_j} - W_{c_j}} \right) \quad (6)$$

Onde: W_{c_j} (mm) é o limite de armazenamento no solo para haver escoamento subterrâneo; K_{bas_j} (mm) é o parâmetro de escoamento subterrâneo e D_{bas_j} (mm) é o escoamento subterrâneo.

Nas equações 5 e 6 observam-se que se W é menor do que W_z , não há escoamento subsuperficial, e quando W é menor do que W_c , não há escoamento subterrâneo, respectivamente. Normalmente W_z e W_c são fixados em um décimo de W_m , e não são considerados na calibração.

O fluxo gerado no interior de cada URH j é encaminhado para a rede de drenagem utilizando três reservatórios lineares: fluxo de base, fluxo subsuperficial e superficial (PAIVA et al., 2013; BAYER, 2014), como ilustrado na Figura 5.

Os escoamentos são oriundos do volume de água produzido em cada URH, conforme equações 7, 8 e 9.

$$V_{Sup_i}^t = V_{Sup_i}^{t-1} + \Delta t \times \sum \Delta D_{Sup_{i,j}} \quad (7)$$

$$V_{Ssup_i}^t = V_{Ssup_i}^{t-1} + \Delta t \times \sum \Delta D_{Ssup_{i,j}} \quad (8)$$

$$V_{Sub_i}^t = V_{Sub_i}^{t-1} + \Delta t \times \sum \Delta D_{Sub_i,j} \quad (9)$$

Onde: VSup, VSSup e VSub (m³) correspondem aos volumes nos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneos em cada minibacia (microbacia) i.

Cada volume armazenado é propagado através do reservatório linear, com correspondente tempo de retardo (Equações 10, 11 e 12), tal que a vazão gerada em cada minibacia é dada pela soma das vazões superficial, subsuperficial e subterrânea:

$$Q_{Sup_i}^t = \frac{1}{TKS_i} \times V_{Sup_i}^t \quad (10)$$

$$Q_{int_i}^t = \frac{1}{TKI_i} \times V_{SSup_i}^t \quad (11)$$

$$Q_{Bas_i}^t = \frac{1}{TKB_i} \times V_{Sub_i}^t \quad (12)$$

Onde: Qsup (m³:s⁻¹) é a vazão de saída do reservatório superficial; Qint (m³:s⁻¹) é a vazão de saída do reservatório subsuperficial; Qbas (m³:s⁻¹) é a vazão de saída do reservatório subterrâneo e TKS, TKI e TKB os respectivos tempos de retardos, sendo estes associados aos parâmetros calibráveis de propagação superficial (Cs), ao parâmetro de propagação subsuperficial (Ci), o parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo (Cb) e a vazão unitária de base (Qb).

A água gerada em cada minibacia escoar até atingir a rede de drenagem, havendo um retardo e um amortecimento na mesma. Este escoamento ocorre de três formas: superficial, subsuperficial e subterrâneo; que se propagam independentemente através de reservatórios lineares.

A vazão de saída das minibacias (microbacia) é encaminhada à rede de drenagem, onde ocorre a propagação de vazão pelo método de Muskingum-Cunge ou modelo hidrodinâmico unidimensional completo (PAIVA et al, 2013). A propagação é baseada no uso das equações de Saint-Venant, compostas pela equação da conservação da massa (Equação 13), e pela equação de quantidade de movimento (Equação 14)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial x} = q_{cat} - q_{fl} \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) \quad (14)$$

Estas equações refletem as leis de conservação de massa e momento no canal em uma direção (1D), sendo Q ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) a vazão do rio, t (s) o tempo, x (m) o espaço pela coordenar longitudinal do rio, b [m] a largura da secção transversal do rio na elevação da superfície livre, q_{cat} ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) a captação do fluxo lateral local (soma do fluxo de superfície, subsolo e de base), q_{n} ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) a troca de fluxo rio-planície, h (m) a profundidade da água, g ($\text{m}.\text{s}^{-2}$) aceleração devido à gravidade, a (m^2) área de fluxo da secção transversal perpendicular à direção do fluxo e S_0 (mm^{-1}) e S_f (mm^{-1}) são a inclinação do leito e talude na direção x do atrito. O coeficiente de atrito é estimado usando a equação de Manning.

O modelo desenvolvido por Paiva (2013) foi capaz de reproduzir hidrogramas observados em diferentes escalas espaciais, e forneceu resultados do nível de água na maioria das estações de medição e resultados globais de medidas de inundação semelhante ao estimado por sensoriamento remoto.

As descargas foram bem simuladas, mesmo em regiões onde outras variáveis hidrológicas não eram bem representadas, como no baixo Amazonas, onde alguns erros de níveis de água e extensão da inundação foram encontrados (PAIVA et al., 2013)

A assimilação de dados por sensoriamento remoto, com a estimativa de níveis d'água usando altimetria espacial por radar do satélite ENVISAT, variações do armazenamento de água terrestre oriundos da missão gravimétrica GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) e a estimativa de dados de precipitação com o TRMM 3B42 foram validadas por Paiva (2013) para a bacia Amazônica.

Para a bacia Amazônica, Paiva (2013) encontrou uma média de taxas anuais de precipitação, evapotranspiração e descarga na estação de Óbidos, AM, de $P = 5.65 \text{ mm.dia}^{-1}$, $ET = 2.72 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $Q = 3.09 \text{ mm.dia}^{-1}$, respectivamente. Já a variabilidade do armazenamento de água na bacia, das águas superficiais, do solo e subterrâneas no processamento, revelaram uma variação sazonal e uma elevada amplitude de 325 milímetros para toda a Amazônia, com os valores de amplitude maiores ($> 750 \text{ mm}$) encontrados no centro da Amazônia.

Paiva (2013) descreve que as águas de superfície governam a maioria das mudanças no armazenamento na bacia amazônica com 56%, principalmente na Amazônia central e em áreas com grandes planícies de inundação, enquanto que a água no solo uma contribui com (27%), principalmente em áreas do Sudeste, sendo o componente subterrâneo o compartimento que menos influência essa variação correspondendo a 8%.

Bayer; Collischonn (2013); Bayer (2014) estudaram o comportamento do modelo hidrológico de grande escala quanto a avaliação aos impactos das mudanças de uso da terra sobre a hidrologia realizada por meio de simulação. Para isto, buscou-se um modelo distribuído capaz de introduzir as mudanças de uso da terra, obtendo bons resultados sem um número extensivo de parâmetros.

Os estudos foram divididos em duas etapas, sendo a primeira corresponde a uma avaliação de sensibilidade do modelo hidrológico às mudanças de usos da terra e a segunda etapa buscando avaliar os impactos das alterações de usos da terra no regime hidrológico em bacias de grande escala, comparando-se os valores encontrados em bacias experimentais (BAYER, 2014)

O modelo MGB-IPH foi escolhido por Bayer; Collischonn (2013), que descreve os processos de balanço de energia, evapotranspiração e interceptação; considerando-os que estão mais diretamente relacionados com a vegetação.

Assim, os parâmetros fixos tratados no modelo MGB-IPH são: Albedo, altura da vegetação, índice de área foliar (IAF), e resistência superficial em boas condições de umidade do solo, variáveis decisivas no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.

O albedo é o coeficiente de refletividade ou fração de radiação solar refletida ao atingir a superfície do solo ou de um corpo, variando com o ângulo de incidência da radiação e características como cor, conteúdo de umidade e rugosidade (CHANG, 2006; BAYER, 2014).

Valores médios para o albedo de algumas classes de classes de cobertura vegetal são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores do albedo médio diário para algumas classes de cobertura da terra.

Tipo de cobertura		Albedo (α)	Fonte
Água		0;08	(Shuttleworth, 1993)
Neve e gelo	velho	0;20	(Shuttleworth, 1993)
		0;45 - 0;70	(Chang, 2006)
	novo	0;80	(Shuttleworth, 1993)
Florestas		0;80 - 0;95	(Chang, 2006)
	Altas	0;11 - 0;16	(Shuttleworth, 1993)
	Amazônica	0;134	(Culf et al., 1995)
	Coníferas	0;05 - 0;10	(Chang, 2006)
	Mistas	0;10 - 0;15)	(Chang, 2006)
	Temperadas (madeira-de-lei)	0;15- 0;20	(Chang, 2006)
Cultivos agrícolas		0;15 - 0;25	(Chang, 2006)
	Altos (ex. cana de açúcar)	0;15 - 0;20	(Shuttleworth, 1993)
	Baixos (ex. soja, trigo)	0;20 - 0;26	(Shuttleworth, 1993)
Pastagens ou gramíneas		0;20 - 0;26	(Shuttleworth, 1993)
	Tropicais (Amazônica)	0;18	(Culf et al., 1995)
	Gramíneas alta	0;15 - 0;20	(Chang, 2006)
	Gramíneas baixas	0;15 - 0;25	(Chang, 2006)
Cerrado brasileiro	época úmida	0;13	(Miranda et al., 1996)
	época seca	0;18	(Miranda et al., 1996)
Solo	exposto úmido	0;10	(Shuttleworth, 1993)
	exposto seco	0;35	(Shuttleworth, 1993)
	argiloso	0;20 - 0;35	(Chang, 2006)
	arenoso	0;25 - 0;45	(Chang, 2006)

Fonte: Bayer (2014)

A interceptação ou retenção da água da chuva pela vegetação é simulada no MGB-IPH através de um reservatório cuja capacidade máxima depende da cobertura vegetal, com a precipitação que atinge uma URH de uma minibacia (microbacia) estimada por interpolação dos dados de postos pluviométricos próximos, a cada passo de tempo, utilizando a técnica de ponderação pelo inverso da distância (BAYER; COLLISCHONN, 2013; BAYER, 2014).

O volume máximo de água da chuva interceptada depende da capacidade do reservatório de interceptação, sendo este dependente do parâmetro de lâmina de interceptação ($\beta = 0,4$) e do índice de área foliar (IAF), que pode assumir diferentes valores para cada mês do ano (BAYER; COLLISCHONN, 2013; BAYER, 2014). A tabela 3 apresenta valores do IAF para diferentes tipos de vegetação encontrados na literatura.

Tabela 3 – Valores do índice de área foliar (IAF) para algumas classes de cobertura da terra.

Tipo de cobertura		IAF	Fonte
Cerrado brasileiro	Estação úmida	1,0	(Miranda et al., 1996)
	Estação seca	0,4	(Miranda et al., 1996)
	Cerradão	1,89 - 2,32	(Bitencourt et al., 2007)
	Campo cerrado	1,15 - 2,32	(Bitencourt et al., 2007)
Pastagens		0,66 - 2,45	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
		0,49 - 3,90	(Roberts et al., 1996)
		2,0 ± 0,79	(Zanchi et al., 2009)
		2,63 ± 0,77	(Caruzzo e Rocha, 2000)
Florestas	Decídua	4,97 ± 1,27	(Caruzzo e Rocha, 2000)
	Conífera	1,7 - 5,3	(Pierce e Running, 1988)
	Eucalipto	1,66 - 3,13	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Mata Ciliar	1,71 - 4,9	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Amazônica	4,63 - 6,1	(Roberts et al., 1996)
Culturas anuais		2,97 - 9,6	(Honzák et al., 1996)
	Soja irrigada	4,7 - 7,6	(Fontana et al., 1992)
	Soja não irrigada	2,8 - 6,2	(Fontana et al., 1992)
	Milho	1,26 - 3,07	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Trigo	2,83 - 3,39	(Oviedo e Rudorff, 2000)
	Cana de açúcar	0,12 - 3,34	(Xavier e Vettorazzi, 2003)

Fonte: Bayer (2014)

Frente aos valores da tabela 3, observa-se que a interceptação da chuva é maior em regiões de vegetação com um IAF maior, isso leva a afirmativa que a interceptação da chuva em florestas é maior do que em áreas de pastagem ou de agricultura (BAYER, 2014). Avaliando a influência do IAF de forma isolada, a consequência do desmatamento é uma redução da interceptação e, por consequência, da evapotranspiração, implica um aumento do escoamento na bacia (BAYER; COLLISCHONN, 2013).

O método de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração no MGB-IPH, para cada minibacia (microbacia) e URH, sendo o método de estimativa baseado em uma rede de resistências, superficial e aerodinâmica, no qual se assume que toda a energia resultante do balanço de energia está disponível às plantas para a evapotranspiração (BAYER et al., 2013).

A resistência superficial (r_s) é a resistência ao fluxo de umidade do solo para a

atmosfera através das plantas, dependente do conteúdo de umidade do solo, sendo determinada pelo produto da resistência superficial mínima (r_{smin}), que ocorre em condições de suprimento adequado de água no solo, e uma função (f) tal que a resistência possa ser corrigida devido ao déficit de umidade no solo (WIGMOSTA, 1994; BAYER et al., 2013)

A Tabela 4 apresenta alguns valores de resistência superficial mínima para diferentes classes de vegetação citados na literatura, observado que a r_{smin} variam em uma ampla faixa, o que dificulta a sua determinação para diferentes usos e coberturas da terra, uma vez que este está fortemente relacionado a fatores fisiológicos (BAYER, 2014).

Tabela 4 - Valores de resistência superficial (r_s) mínima ou em ótimas condições de umidade no solo de diferentes tipos de vegetação adotados ou estimados.

Tipos de cobertura	r_s	Fonte
	69	Shuttleworth (1993)
	40	Hough e Jones (1997)
Gramíneas	71	Todorovic (1999)
	40 - 80	Hough e Jones (1997)
	100 - 250	Bathurst et al. (2004)
Cultivos agrícolas	40	Hough e Jones (1997)
	70 - 700	Bathurst et al. (2004)
Pastagens	50 - 65	Bathurst et al. (2011)
Florestas	100 - 250	Bathurst et al. (2004)
	50 - 100	Bathurst et al. (2011)
Florestas Coníferas	70	Hough e Jones (1997)
Florestas Decíduas	80 - 180	Hough e Jones (1997)
Florestas de terra firme	70 - 160	Hough e Jones (1997)
Florestas Tropicais	125	Granier et al. (1996)
Florestas de Eucaliptos	111	Soares e Almeida (2001)
Solo exposto	100	Hough e Jones (1997)

Fonte: Bayer; Collischonn (2013)

A altura da vegetação influencia na evapotranspiração quanto a taxa de transferência de vapor d'água a partir da superfície do solo que ocorre por difusão turbulenta, sendo controlada pela resistência aerodinâmica. Essa resistência é inversamente proporcional à velocidade do vento e muda com a altura da vegetação

Collischonn et al. (2007) apresentam valores adotados para a altura média da

cobertura vegetal (Tabela 5). Bayer (2014) observa que, para uma mesma velocidade do vento, a resistência aerodinâmica é menor quando a vegetação tem uma altura média maior, portanto a resistência de florestas é menor do que a resistência aerodinâmica das áreas de pastagem, ou agricultura e assim considerando a influência apenas deste parâmetro, a consequência do desmatamento é uma redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial.

Tabela 5 - Valores da altura da vegetação (h) utilizadas pelo modelo MGB-IPH.

Tipo de cobertura	h (m)
Floresta	10,00
Floresta amazônica	30,00
Cerrado	5,00
Pastagem amazônica	0,53
Campo, pastagem	0,50
Agricultura	0,50

FONTE: Collischonn (2007)

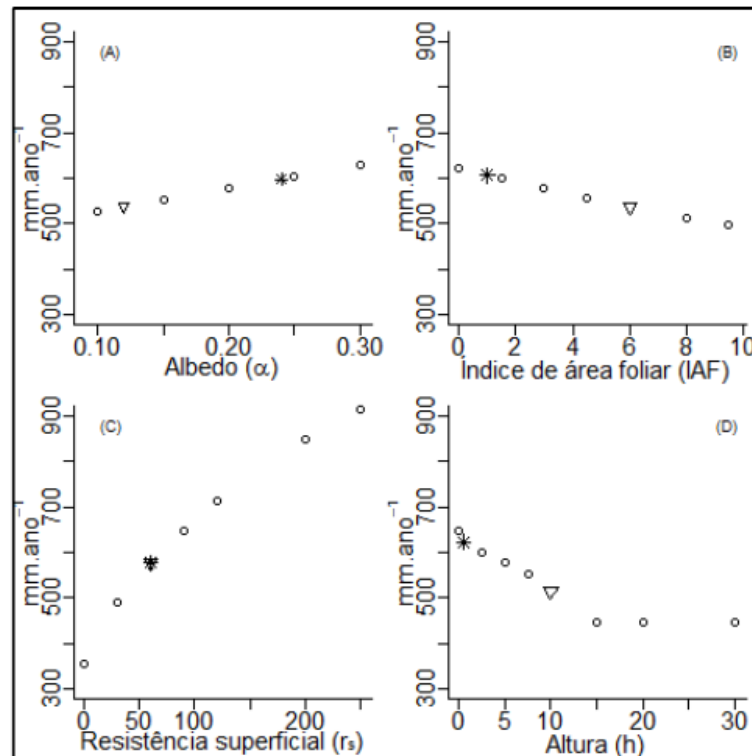
Para avaliar a sensibilidade do modelo MGB-IPH as mudanças de uso da terra Bayer (2014) realizou uma simulação na bacia hidrográfica do Rio das Almas (18.800 km²), localizada na cabeceira do rio Tocantins, Estado de Goiás. Os parâmetros calibráveis foram arbitrados a partir de aplicações anteriores em diversas bacias, tais que a capacidade de armazenamento de água no solo (Wm) fosse 600 mm; o parâmetro que controla a separação do escoamento superficial até a saturação do Wm (b) fosse 0,1; o parâmetro de vazão de base (Kbas) fosse 1,0 mm.dia⁻¹; o parâmetro de escoamento da camada subsuperficial (Kint) fosse 2,0 mm.dia⁻¹; o parâmetro da curva de drenagem subsuperficial (xl) fosse 0,6; o parâmetro que controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada subsuperficial do solo (DMCap) fosse 0 mm.dia⁻¹; o parâmetro de armazenamento residual (Wc) fosse 0,1 mm; o parâmetro de propagação superficial (Cs) fosse= 13; o parâmetro de propagação subsuperficial (Ci) fosse 100; o parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo (Cb) fosse 2300 dias e a vazão unitária de base (Qb) fosse 0,01 m³:s⁻¹.

Para os parâmetros índice de área foliar (IAF), resistência superficial (rs), altura média da vegetação (h) e albedo (α) foram realizadas variações sequenciais, a partir de um conjunto de referência, de acordo com os valores encontrados na literatura, sendo a sensibilidade do modelo avaliada pelo percentual de alteração na vazão média de longo termo

de cada séries gerada, com a bacia possuindo uma única URH e sendo alterada a cada nova rodada de simulação (BAYER; COLLISCHONN, 2013; BAYER, 2014).

Os resultados em Bayer (2014) apresentam em termos da vazão de longo termo, e como cada parâmetro atua na geração do escoamento, observando que os parâmetros IAF e h são inversamente proporcionais à vazão gerada na bacia, uma vez que quanto maior o IAF maior será a interceptação na bacia e, quanto maior a h maior a facilidade nas trocas aerodinâmicas, ambos favorecendo o processo de evaporação (Figura 13).

Figura 13 - Vazão média ($\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) de longo termo na bacia do rio das Almas em função dos parâmetros: (A) albedo, (B) índice de área foliar, (C) resistência superficial e (D) altura média da vegetação. Os valores de parâmetros indicados “ Δ ” caracterizam condições de floresta e “*” de pastagem.



Fonte: Bayer; Collischonn (2013)

Ainda na Figura 13 observa-se que para os parâmetros α e r_s são mantidos proporcionalidade à vazão gerada na bacia, pois quanto maior o α maior a energia refletida pela superfície e, conseqüentemente menos energia estará disponível para o processo de evaporação. Em relação à r_s , o seu aumento implica em uma menor perda por transpiração, logo haverá mais água disponível para gerar escoamento (BAYER, 2014).

4.5 USO E COBERTURA DO SOLO E UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA (URH)

As florestas ombrófilas densas e abertas, com árvores de médio e grande porte, com ocorrência de cipós, bromélias e orquídeas predominam na Amazônia. As formações campestres são constituídas pelas tipologias de vegetação abertas, mapeadas como: savana, correspondente ao Cerrado que predomina no Brasil central, ocorrendo também em pequenas áreas em outras regiões do país, inclusive na Amazônia; savana estépica que inclui a caatinga nordestina, os campos de Roraima (FUNCATE, 2006).

A porção central da bacia amazônica, compreendido como a localização do Estado do Amazonas, caracteriza-se por uma região sedimentar, composto por sedimentos terciários a holocênicos, associados aos Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Plintossolos (VALE JUNIOR et al., 2011).

Com pedologia bastante diversificada e contrastante com os padrões da Amazônia, o extremo Norte e Nordeste do Estado de Roraima têm características peculiares, associada a um mosaico de relevo movimentado, com ocorrência de diversos ecossistemas, variando as classes de solos e a vegetação (VALE JUNIOR et al., 2011).

Lima (2001) relata que as características químicas e mineralógicas dos solos da Amazônia são, na sua maioria, ditadas pela natureza do material de origem, sendo as áreas extensas de solos ricos e eutróficos existentes onde há influência atual (planície aluvial) ou pretérita (terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas) de sedimentos andinos; ou, ainda, onde afloram rochas de riqueza química maior (calcários e margas em Monte Alegre-Ererê; basaltos e diabásios em Roraima, Pará e Amapá).

O controle geomorfológico na distribuição dos solos amazônicos é marcante, com geoformas colinosas e residuais aplainados de baixos platôs geralmente associados a Latossolos Vermelho-Amarelos em áreas de rochas cristalinas ou Latossolos Amarelos nas áreas de sedimentos terciários; nos terços médio e inferior das colinas ou residuais aplainados ocorrem Argissolos, podendo apresentar plintita ou petroplintita, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos. Na planície aluvial (várzea) dos rios de águas brancas, predominam-se Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Plintossolos e solos com caráter plíntico são predominantes nas terras baixas do Alto Amazonas, nos interflúvios Madeira/Purus/Juruá e Solimões/Japurá (SCHAEFER et al., 2000; LIMA, 2001).

Ocorrem padrões considerados atípicos para a Amazônia: zonas baixas de savana (lavrado) e savanas com vegetação típica de caatinga, com cactáceas e acentuado déficit

hídrico, ladeando florestas submontanas estacionais ou ombrófilas. É grande a heterogeneidade da paisagem, com número significativo de bacias hidrográficas independentes (bacias do Cotingo, Uailã, Maú, Quinô, Surumú, Uraricoera e Tacutú), formadoras da bacia do Alto Rio Branco (VALE JUNIOR et al., 2011).

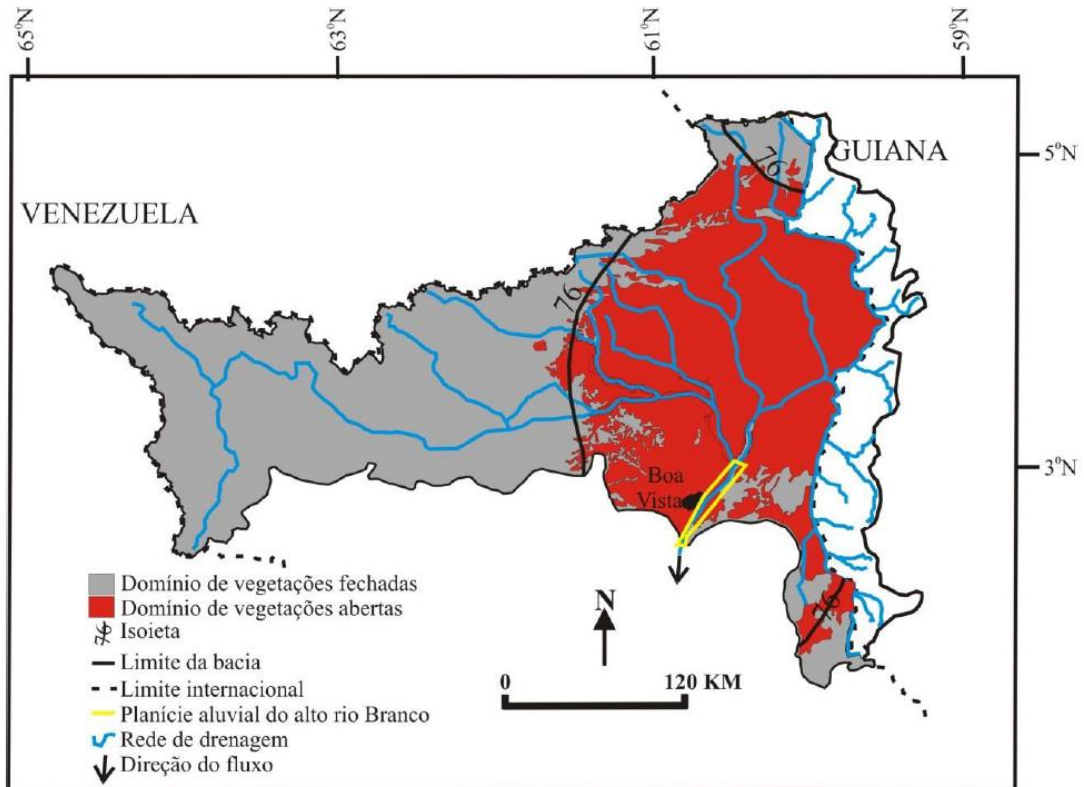
As principais classes de solo caracterizadas e mapeadas nas savanas de Roraima são os Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Plintossolos, Neossolos, além de manchas de Chernossolos, Cambissolos e Nitossolos (MELO; SCHAEFER; UCHÔA, 2010; BENEDETTI et al., 2011).

Os termos savana, cerrado e lavrado, no âmbito regional, identificam o mesmo tipo paisagístico em Roraima, e poderiam ser integrados no Bioma do Cerrado brasileiro caso a definição fitogeográfica desta paisagem não fosse parte da ecorregião das “Savanas das Guianas” que pertence ao Bioma Amazônia (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

Embora ambos os Biomas possuam a mesma aparência e estrutura física, existem especificidades ecológicas e florísticas que distinguem as savanas do extremo norte amazônico dos cerrados situados em outras regiões do país, considerando a descontinuidade geográfica com o Planalto Central Brasileiro e sua posição limítrofe ao Escudo das Guianas, são fontes de variabilidade nos fatores que determinaram a diversidade florística, e a manutenção deste tipo de ambiente como por exemplo, latitude, fertilidade do solo, relevo, clima, etc (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

Na bacia do alto Rio Branco, a ocorrência de vegetações abertas e fechadas (Figura 14), sendo relaciona a existência da vegetação aberta tipo savana por Evangelista; Sander; Wankler (2008) e a concentrações de chuvas na estação úmida (abril-setembro) por Sander (2015).

Figura 14 - Domínio de vegetações abertas e fechadas e total da pluviosidade anual concentrada (abril-setembro) na bacia do alto rio branco



Fonte: Sander (2015)

Em regiões do estado de Roraima, fora da bacia do alto Rio Branco, há o predomínio de florestas, onde a geomorfologia passa a ser um fator que se impõe no estabelecimento dos domínios vegetais, fato observado da localização das Florestas Ombrófilas Montanas no Norte do Estado no Planalto do Interflúvio Amazonas-Orinoco, e Campinarana Florestada na área coberta pelo domínio da Depressão Rio Branco-Rio Negro, área localizada no baixo rio Branco (SANDER, 2015).

Barbosa; Miranda (2005) apresentam para a savana de Roraima uma classificação em Savana (Savana Arbórea Densa -Sd, Savana Arbórea Aberta -As, Savana Parque - Sp e Savana Graminosa ou Gramíneo-lenhosa - Sg), as Savana Estépica (Savana Estépica Arbórea Densa - Td, Savana Estépica Arbórea Aberta – Ta, Savana Estépica Parque – Tp, Savana Estépica Graminosa – Tg), e Outros Sistemas distribuídas pelas savanas de formações vegetais distintas tipo: Pequenas ilhas de florestas; Matas de galeria às margens dos igarapés ou rios que drenam a região e Matas de buritis.

Savana Arbórea Densa (Sd) - são os “caimbezais” situados quase que integralmente na região oeste do contato da floresta com a savana. A altura média das árvores é estabelecida entre 6-8 m podendo, contudo, serem encontrados indivíduos de até 10m.

Savana Arbórea Aberta (Sa) - localizada principalmente na bacia do baixo rio Surumu, e em pontilhões esparsos por toda a zona de contato floresta-savana, caracteriza-se por árvores baixas (5 a 7 m), bem espaçadas.

Savana Parque (Sp) – agrupam-se principalmente na região centro e oeste das savanas, limite com a floresta estacional de transição. Entretanto, não são contínuas e podem ser percebidas facilmente em outras áreas. Caracteriza-se por uma distribuição agrupada dos elementos lenhosos, o que pode lhe conferir uma fisionomia em moitas, apresentando uma elevada área basal, densidade de indivíduos e grau de cobertura.

Savana Graminosa ou Gramíneo-lenhosa (Sg) - localizada ao longo de toda a bacia do alto rio Branco, caracteriza-se pelos campos que se estendem pelas ondulações do pediplano de Boa Vista, entremeados de lagoas temporárias, às vezes permanentes, e densa rede de drenagem ladeada por veredas de buritis. Esses campos podem ser divididos em duas sub-unidades paisagísticas: (i) campo limpo – caracterizado pela dominância do extrato graminoso e pela presença (ou não) da espécie sub-arbustiva e (ii) campo sujo – ainda com forte presença do extrato graminoso, mas observada com maior densidade de espécies arbóreo-arbustivas de pequeno porte.

Savana Estépica Arbórea Densa (Td) - localizada nas regiões serranas, vales encaixados e encostas das rochas vulcânicas. Caracteriza-se por uma vegetação arbórea decidual.

Savana Estépica Arbórea Aberta (Ta) - localiza-se nas mesmas serras, caracteriza-se principalmente por uma dispersão arbórea bem aberta, com tapete graminoso ralo nas encostas rochosas e contínuas nas areníticas. Essa cobertura graminosa é dominada por *Aristida e Trachypogon*, que ficam completamente secos no período sem chuvas.

Savana Estépica Parque (Tp) – da mesma forma que as anteriores, localiza-se em porções das regiões serranas, sempre acima dos 600 m de altitude, e quase sempre associada a seqüências vegetacionais. O solo é pedregoso e o estrato graminoso é ralo.

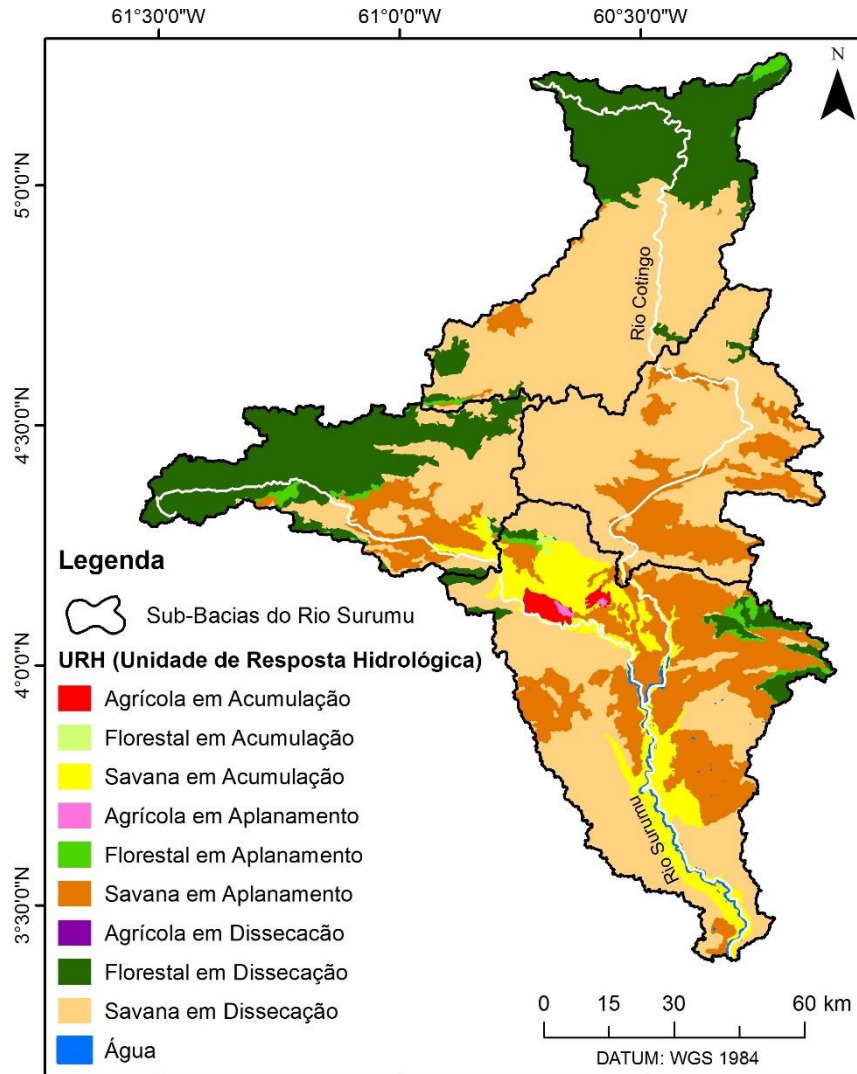
Savana Estépica Graminosa (Tg) - típica das áreas serranas, localizada nos vales abertos e nos topos das áreas areníticas aplainadas. Ao longo dos pequenos cursos de água, em geral rasos e espriados, aparecem alguns buritis que não chegam a influenciar na paisagem. Diferente das savanas gramíneas (Sg), não apresenta predominância de *Byrsonima verbascifolia* (L.) DC. Também pode ser dividida em duas sub-unidades (campo limpo e campo sujo) em função da densidade e da cobertura de copa dos indivíduos arbóreo-arbustivos presentes no sistema.

Observa-se na descrição da formação dos solos e características de vegetação apresentados, um claro controle geomorfológico, hidrológico e climático na definição da paisagem no ambiente amazônico, em especial a savana de Roraima.

Um processo hidrológico propicia a modificação, evolução ou formação de uma feição que por sua vez condiciona a intensidade, magnitude, duração do processo hidrológico. Ou seja, o processo modifica a forma que por sua vez condiciona o processo (GOERL; KOBAYAMA; SANTOS, 2012).

Neste contexto, Nobrega et. al (2018), usando a técnica de discretização da bacia em unidades de resposta hidrológica (URHs) de Collischonn et al. (2007); Paiva (2009); Paiva et al. (2013); Bayer (2014); Fan et. al. (2015), discretizaram a bacia do rio Surumu em URHs por combinação do mapa da geomorfologia ao mapa do uso e ocupação da terra (Figura 15), frente a importância das formas de relevo, através dos tipos de modelados como características geomorfológicas, e o uso e cobertura da terra como fatores intervenientes do comportamento hidrológico, formando um conjunto no estudo hidrogeomorfológico.

Figura 15 - Mapa das Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) na Bacia do Rio Surumu



Fonte: Nobrega et al. (2018)

As áreas de dissecação estão associadas às cabeceiras de drenagem, com vales e vertentes de declividades variada, sendo distribuídas na porção norte e oeste da bacia, também encontradas ao sudoeste fazendo parte do conjunto de divisores topográficos (NOBREGA et al., 2018).

Predomina, na região norte e oeste associada aos modelados de dissecação as florestas, concentrando quase a totalidade dos 20,2% indicado no mapa de URHs (Figura 15). Isso é fundamental no equilíbrio e redução dos índices de dissecação (NOBREGA et al., 2018).

Nobrega et al. (2018) observaram que 51,2% do modelado de dissecação na bacia do rio Surumu, possuem às áreas cobertas por savanas, e distribuídas no trecho médio da bacia, sendo intercalados por modelados de aplanamentos (19,4%) e de acumulação (7,1%) no

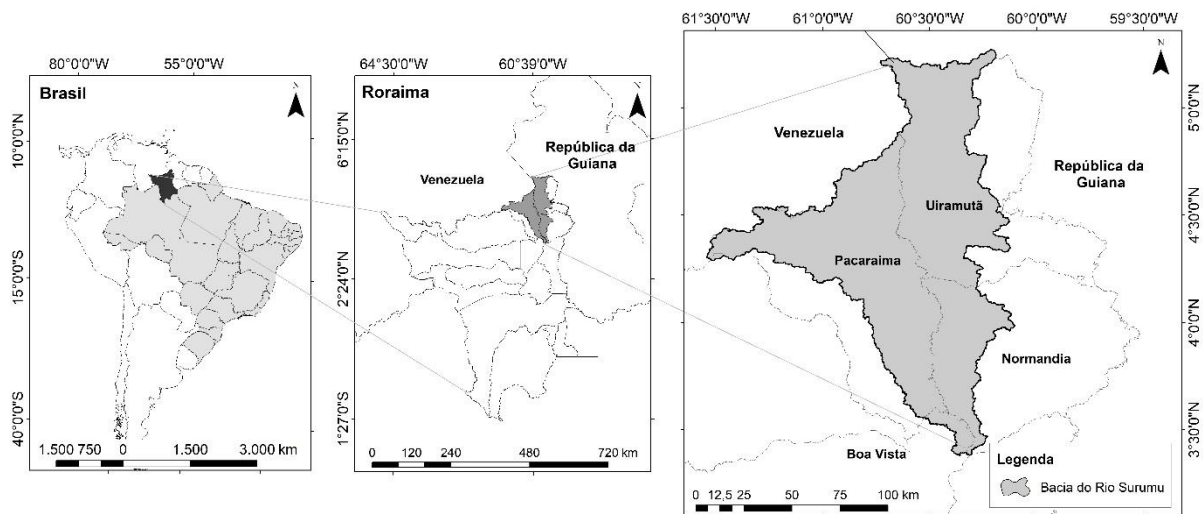
trecho médio/baixo curso do rio Surumu. Essa savana é caracterizada pela presença de colinas arenosas rasas típicas da área de lavrado roraimense (AB´SÁBER, 2010).

A agricultura foi mapeada em menos de 1% da área total da bacia, com predominância em modelados de acumulação, sendo ambiente de várzeas, mas considerando o potencial de expansão da agricultura nesta bacia hidrográfica é uma preocupação, principalmente nos 19,4% da URH de savana em modelado de aplanamento, devendo ser objetivo em trabalhos de simulação hidrológica observar possíveis alterações no regime dos cursos água e no transporte de sedimentos, caso o uso das terras para agrícola seja confirmado (NOBREGA et al., 2018).

5 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo compreende parte do bloco de savanas que ocorre nas porções norte e nordeste do estado de Roraima, adentra terras da República da Guiana e Venezuela, se estendendo até os limites do rio Rupununi, formando o complexo denominado Rio Branco-Rupununi, neste trabalho delimitada pela bacia hidrográfica do rio Surumu (Figura 16).

Figura 16 - Localização da Área de Estudo - Bacia do rio Surumu



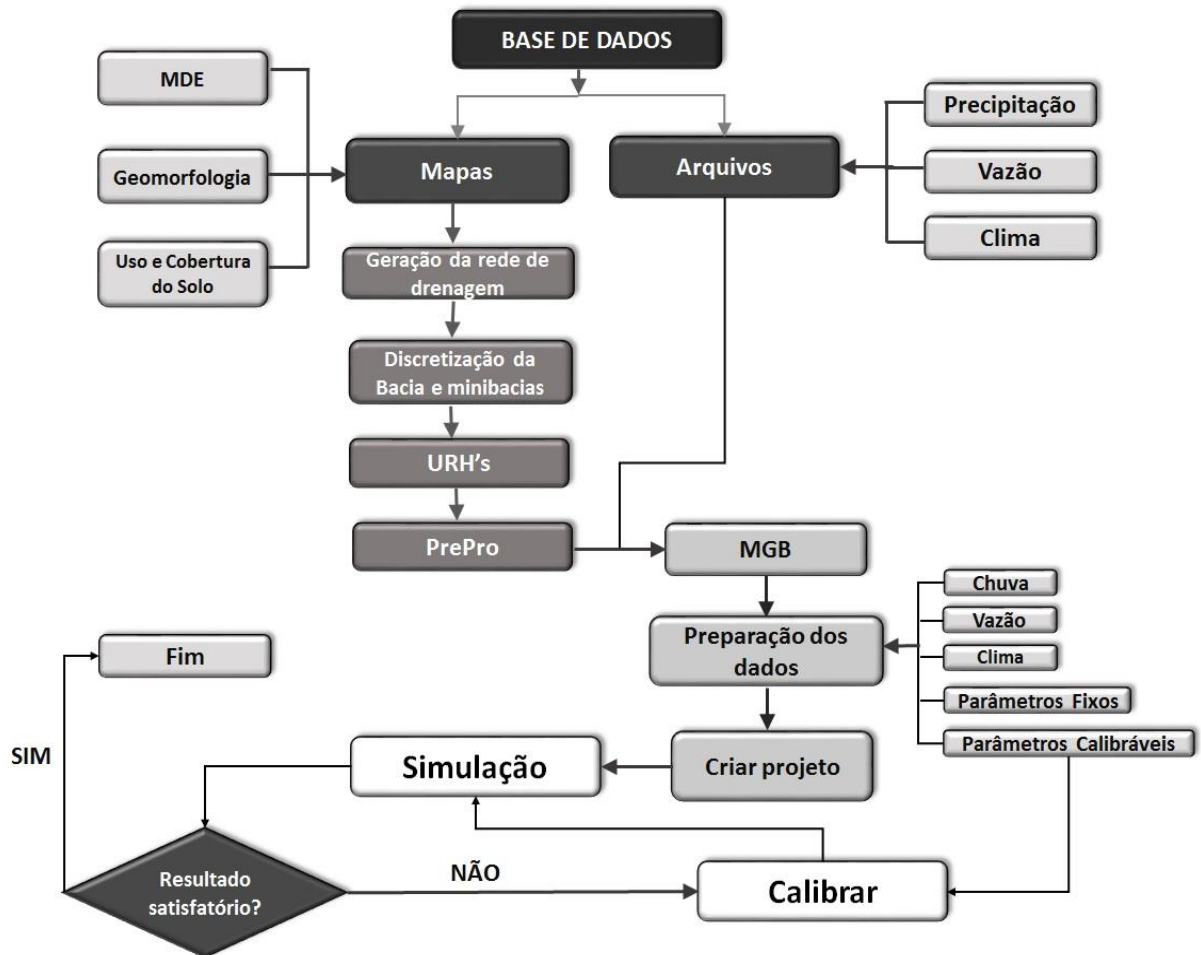
Fonte: Nobrega et al. (2018)

A bacia transfronteiriça do Rio Surumu está localizada na Amazônia setentrional brasileira, no estado de Roraima junto às divisas com a Venezuela e a República da Guiana. Possuindo uma área total de 12.664,1 km², grande parte de seu território é coberta pela vegetação da savana amazônica (lavrado), sendo bacia de contribuição do rio Tacutu, afluente direto e formador do Rio Branco a partir da confluência com o rio Uraricoera (NOBREGA et al. 2018).

A avaliação do comportamento hidrológico na bacia em estudo foi realizada utilizando o modelo hidrológico de grande escala MGB-IPH, descrito em (COLLISCHONN et al., 2007; PAIVA et al., 2013), com discretização da área em pequenas bacias hidrográficas (minibacias), sendo estas associadas em URHs com observância das características do mapa da geomorfologia combinado ao uso e cobertura da terra (NOBREGA et al., 2018), em fluxograma conforme Figura 17, objetivando especializar as informações hidrológicas em

bacia de savana e verificar a viabilidade do uso dos modelados geomorfológicos na integração com modelos hidrológicos físico/conceitual.

Figura 17 - Fluxograma de aplicação do modelo MGB-IPH (Adaptado de Paiva, 2013)



Fonte: o Autor

A base cartográfica utilizada para caracterização dos aspectos de elevação, rede de drenagem, direções de fluxo, acúmulo de fluxo, divisores topográficos e topologia de drenagem foi o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), com processamento realizado no laboratório de Geotecnologia Ambiental - LABGEORR/CCT/CCA/UFRR, a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de aproximadamente 30 metros desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos em 2000.

Fan; Collischonn (2014) destacam como procedimento comum na atualidade a determinação de rede de drenagem, os divisores de água e a delimitação de bacias hidrográficas de forma automática, a partir de informações de relevo, representadas na forma de uma matriz de altitudes ditos MDE.

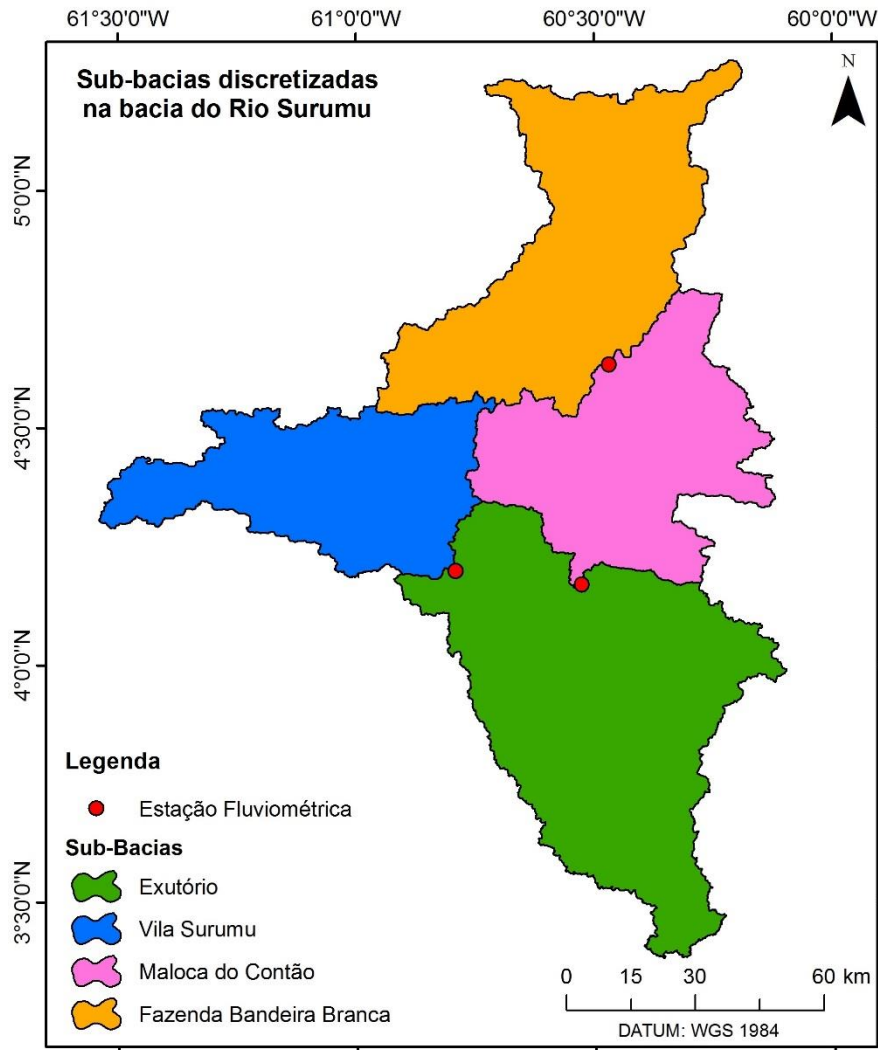
As informações topológicas do MDE foram processadas com a ferramenta SIG IPH-Hydro Tools, tornado o modelo digital de terreno em hidrológicamente consistente, isentos de depressões espúrias, a ponto de permitir a correta simulação dos processos hidrológicos na área em estudo, e assim, conforme Cardoso et al. 2006, o MDEHC, assegurando que o escoamento superficial originado a partir de qualquer ponto da bacia hidrográfica, convergirá para a hidrografia e assim, para a respectiva foz.

Quanto à característica de tamanho das minibacias, os valores limites podem variar em diferentes regiões, dependendo das características físicas locais e dos objetivos do mapeamento (FAN; COLLISCHONN, 2014). Assim, para a discretização da bacia do Rio Surumu em minibacias foi considerado 3,6 km² como área mínima de drenagem, para início de uma rede de drenagem, sendo geradas 1952 (um mil, novecentos e cinquenta e duas) minibacias (microbacias) em fase de processamento de dados na modelagem do MGB-IPH.

Na calibração foram utilizados dados hidrometeorológico com série de 1985-2001 e a validação dos parâmetros calibrados para as sub-bacias e suas URHs foi realizada com série de 2004-2015, usando como base de comparação séries de vazões observadas em 3 (três) estações fluviométricas, sendo estas estações os pontos de controle para delimitação de 4 (quatro) sub-bacias da bacia do rio Surumu, denominadas Fazenda Bandeira Branca, Vila Surumu, Maloca do Contão e o exutório (Figura 18).

O comportamento hidrológico foi caracterizado pelas vazões mínimas, médias e máximas de referência nas 4 (quatro) sub-bacias, bem como nas 18 (dezoito) sub-bacias de cursos d'água importantes da região hidrográfica Surumu-Cotingo, usufruindo da característica MGH-IPH de modelo distribuído.

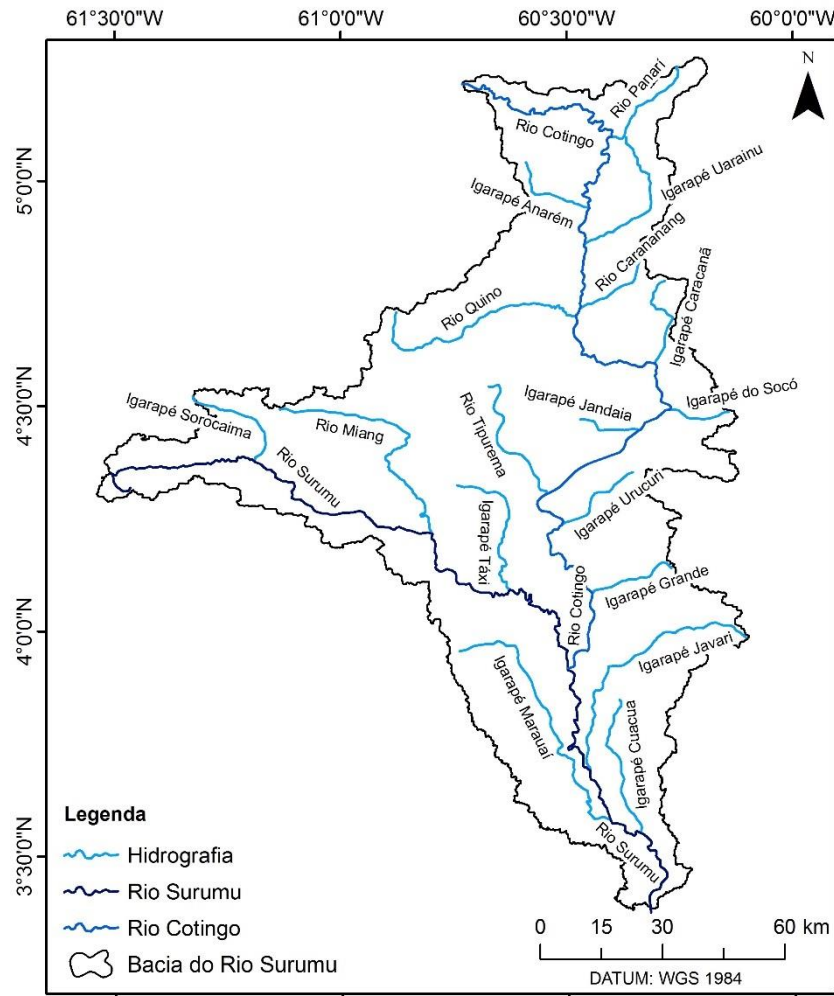
Figura 18 – Sub-bacias da bacia do rio Surumu



Fonte: o Autor

As 18 (dezoito) sub-bacias foram identificadas da base de Ottobacias, como afluentes do rio Cotingo e afluentes diretos do rio Surumu (Figura 19), para compor a análise do comportamento hidrológico na bacia do Surumu, sendo o igarapé Sorocaima, rio Miang, igarapé Táxi, rio Cotingo, igarapé Javari, igarapé Marauaí e o Cuacau afluentes diretos do rio Surumu e os cursos d'água rio Panari, igarapé Anarém, igarapé Uarainu, rio Carananang, rio Quino, igarapé Caracanã, igarapé do Socó, igarapé Jandaia, igarapé Tipurema, igarapé Urucuri e igarapé Grande afluentes do rio Cotingo.

Figura 19 - Principais cursos d'água na bacia do rio Surumu



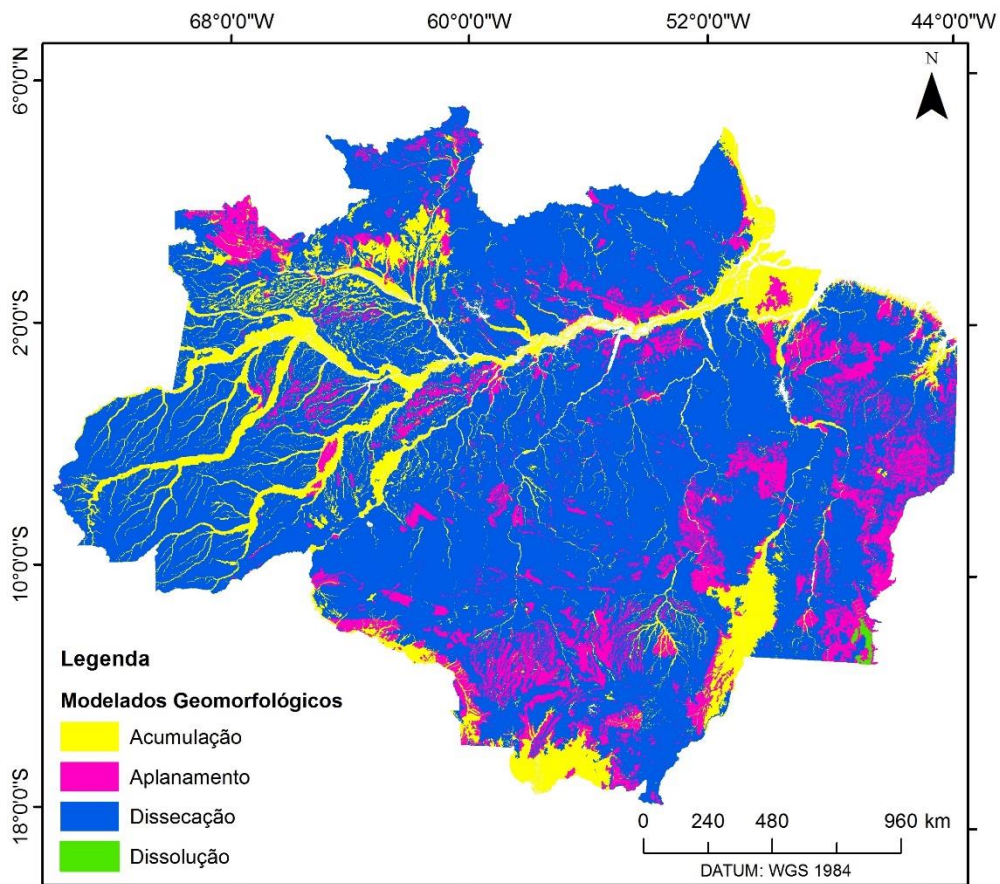
Fonte: o Autor

Uma segunda etapa do trabalho foi a realização de simulação hidrológica e resposta da bacia de savana a mudança no uso e ocupação das terras, considerando o cenário de expansão da agricultura, sendo tratada o reflexo no sistema hidrológico produzido pela substituição de áreas de savana pelo cultivo agrícola em regiões de modelados de aplanamento e acumulação.

Frente ao conceito de hidrogeomorfologia proposto por Goerl; Kobiyama; Santos (2012), uma ciência que busca compreender como os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem, entendendo que as formas de relevo condicionam ou controlam os processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais, este trabalho modela o comportamento hidrológico de uma bacia discretizada em UHRs, a partir de tipos de modelados dos fatos geomorfológicos conforme sua forma de acumulação, aplanamento, dissecação e dissolução.

O mapeamento geomorfológico foi extraído do banco de Dados Digital de Geomorfologia da Amazônia Legal (IBGE, 2009). Esse contém informações sobre os tipos de relevo encontrados na região, compatíveis com a escala de 1:250.000, com descrição dos tipos de modelados (aplanamento, dissecação, dissolução e acumulação) como unidades básicas do mapeamento (Figura 20).

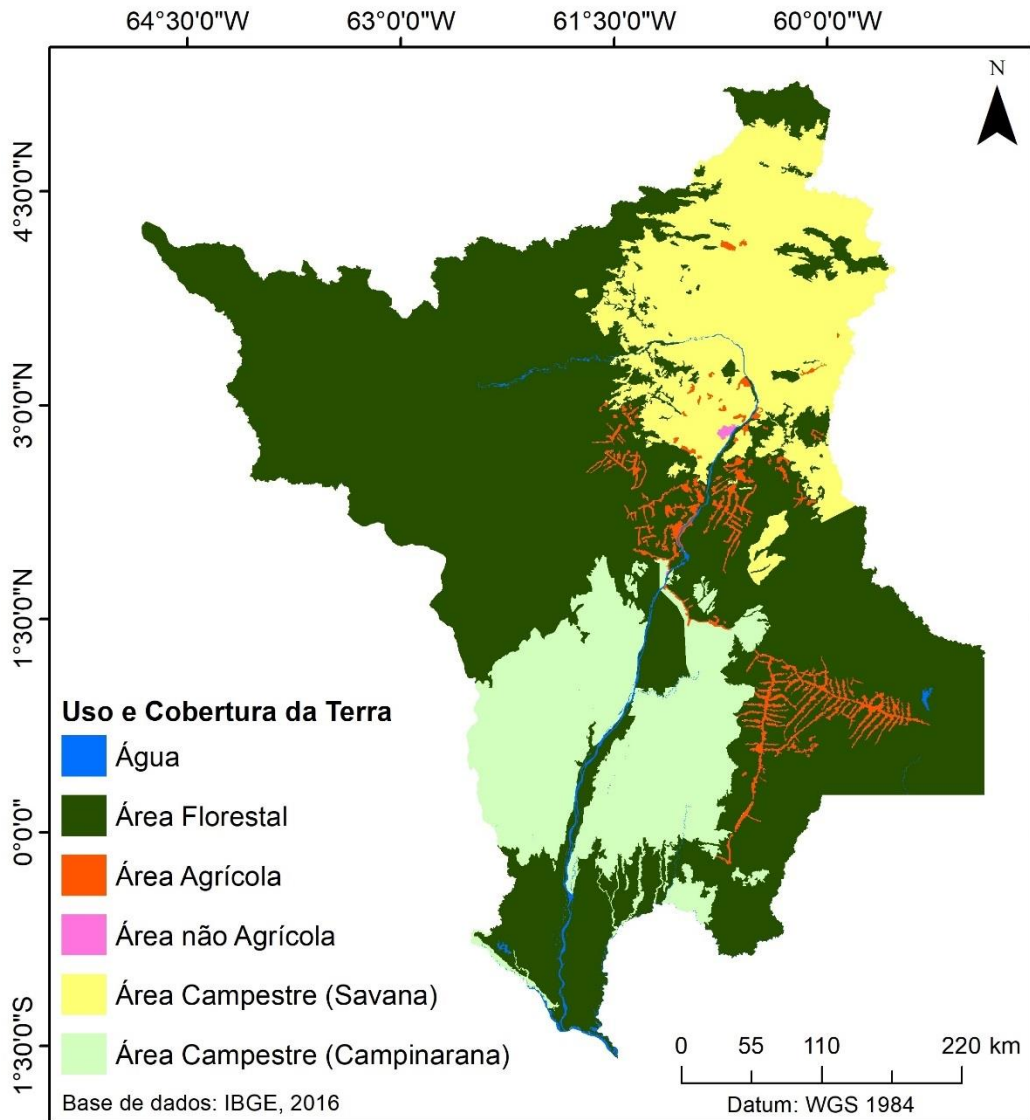
Figura 20 – Mapa da Geomorfologia da Amazônia Legal – Modelados como unidades básicas do mapeamento (Adaptado IBGE, 2009).



Fonte: o Autor

A base de Dados Digital de uso e cobertura da terra para o estado de Roraima (IBGE, 2014), escala compatível de 1:250.000, foi reclassificada para atender os objetivos do presente estudo em 6 (seis) classes (Figura 21), conforme IBGE (2013), sendo elas: áreas não agrícolas, agrícolas, florestal, campestre (campinarana) e campestre (savana), áreas descobertas e água. O recorte para os limites da bacia do rio Surumu é o mapa base para definição das URHs.

Figura 21 - Uso e Cobertura da Terra para o estado de Roraima (Adaptado IBGE, 2014)



Fonte: o Autor

Considerando as combinações dos 4 (quatro) modelados geomorfológicos e das 5 (cinco) classe de uso e cobertura da terra e mais os ambientes cobertos por água, sendo não mapeadas áreas descobertas em Roraima, tem-se 21 (vinte e uma) URHs possíveis de serem definidas, caso encontrados todas as feições na áreas do estudo, e assim descritas: Agrícola em Acumulação; Agrícola em Aplanamento; Agrícola em Dissecação; Agricultura em Dissolução; Florestal em Acumulação; Florestal em Aplanamento; Florestal em Dissecação; Floresta em Dissolução; Campinarana em Dissecação; Campinarana em Acumulação; Campinarana em Aplanamento; Campinarana em Dissolução; Savana em Dissecação; Savana em Acumulação; Savana em Aplanamento; Savana em Dissolução; Não Agrícola em

Acumulação; Não Agrícola em Aplanamento; Não Agrícola em Dissecação; Não Agricultura em Dissolução e Água.

5.1 INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS E CLIMÁTICA

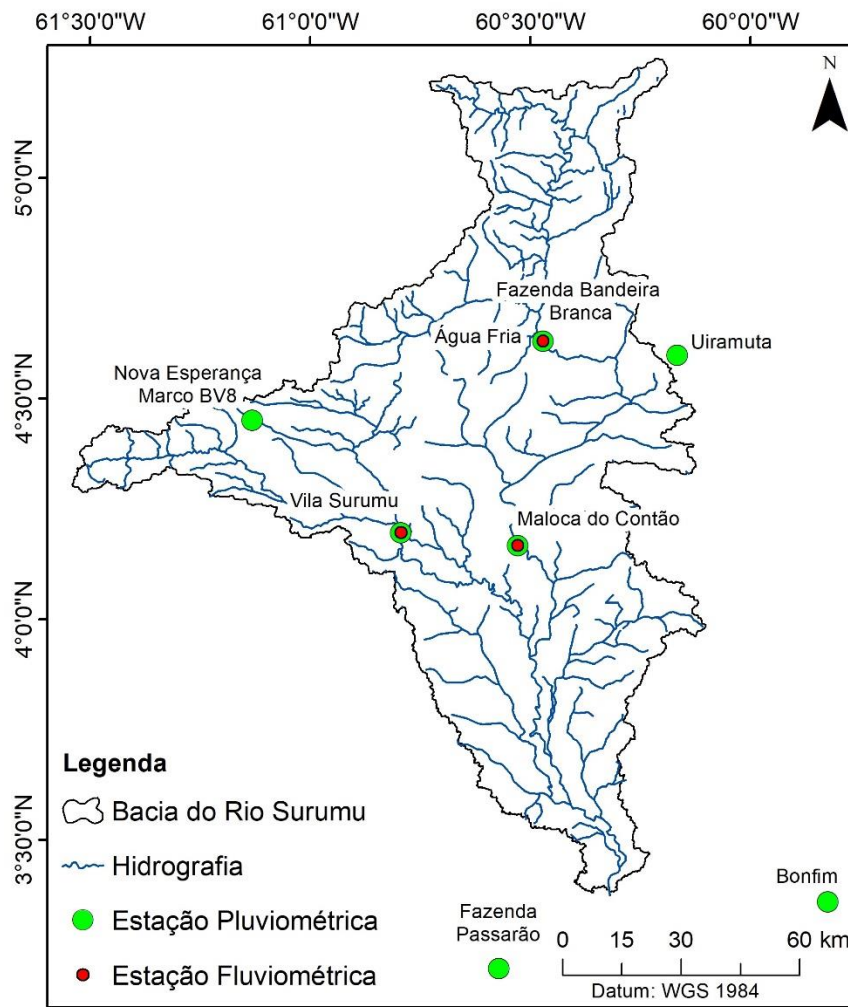
O modelo MGB-IPH processa arquivos de dados de chuva interpolados e na posição dos centroides das microbacias discretizadas, sendo necessário interpolar dados dos postos pluviométricos na região do estudo.

Foram usados os dados de precipitação disponíveis da Agência Nacional de Água, via sistema HIDROWEB, sendo inventariadas 8 (oito) estações pluviométricas, com código e descrição na Tabela 6 e Figura 22. As estações Bonfim, Fazenda Passarão e Uiramutã estão localizadas fora dos limites da bacia, mas em mesmo ambiente savânico. O download, análise, e interpolação dos dados de chuva foram realizados no módulo do MGB-IPH.

Tabela 6 - Inventário das estações pluviométrica na região em estudo

Código	Nome da Estação	Coordenadas	
		Long.	Lat.
08560000	FAZENDA BANDEIRA BRANCA	-60.4706	4.6306
08461000	NOVA ESPERANÇA/MARCO BV-8	-61.1428	4.4658
08460004	UIRAMUTA	-60.1658	4.5903
08460003	ÁGUA FRIA	-60.4644	4.6428
08460001	VILA SURUMU	-60.7939	4.1961
08360002	FAZENDA PASSARÃO	-60.5711	3.2078
08360000	MALOCA DO CONTÃO	-60.5289	4.1667
08359000	BONFIM	-59.8156	3.3783

Figura 22 – Localização das estações Pluviométricas e Fluviométricas usadas no estudo



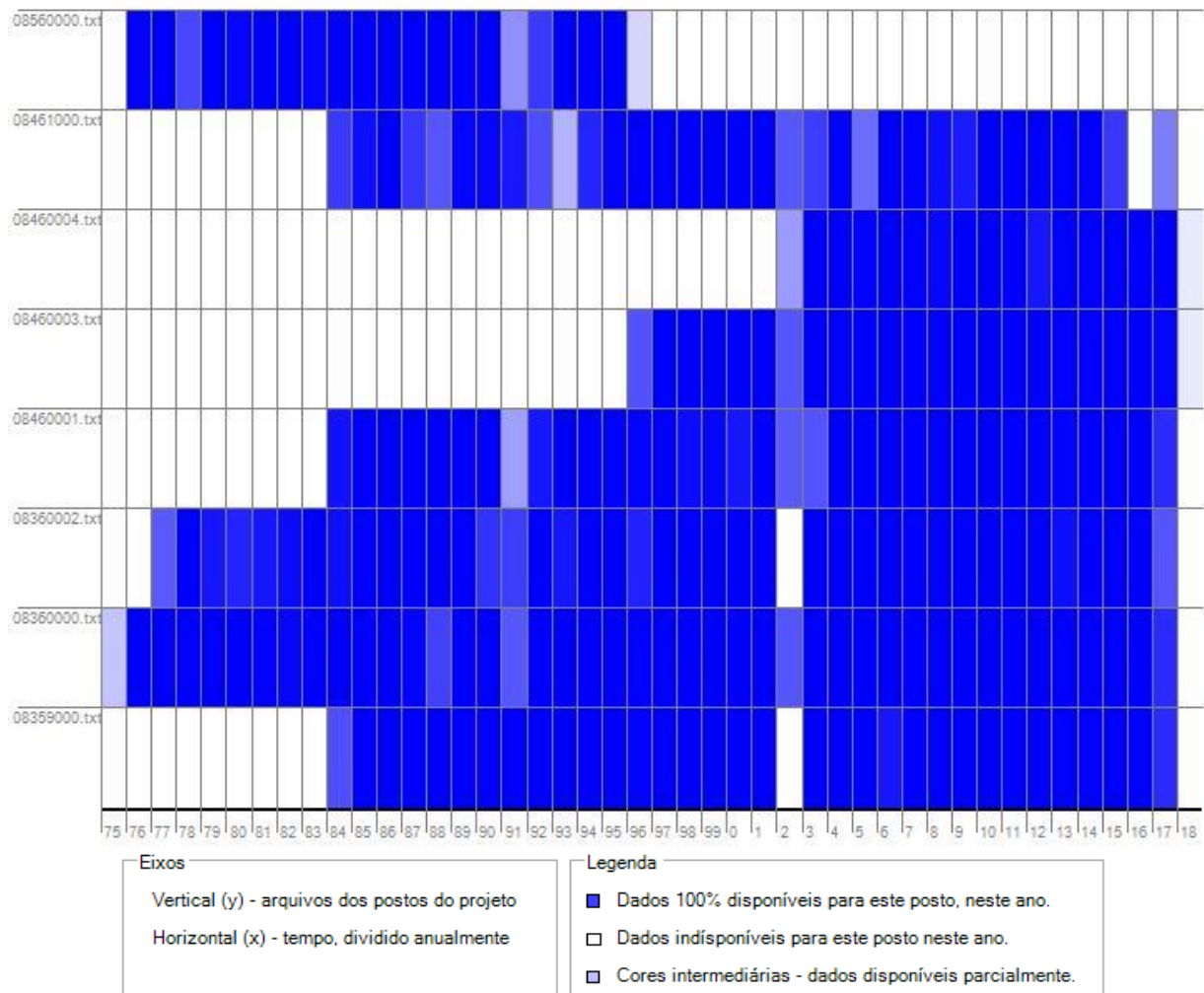
Fonte: o Autor

A Figura 23 apresenta o gráfico de disponibilidade temporal das 8 (oito) estações inventariadas, na sequência a Fazenda Bandeira Branca, Nova esperança/Marco BV-8, Uiramutã, Água Fria, Vila Surumu, Fazenda Passarão, Maloca do Contão e Bonfim, usadas como base de interpolação para caracterizar a precipitação em cada microbacia de discretização. Observando a disponibilidade dos dados foi definido o período de calibração 1985 a 2001 e o da validação de 2004 a 2015, considerando o critério de pelo menos uma estação tenha dados completos nestes anos de observação.

Para o período de calibração 1985 a 2001, foram usadas 6 (seis) estações das 8 (oito) do inventário, sendo excluídas desta primeira série as estações Uiramutã e Água Fria, visto que entraram em operação apenas em 2002 e 1996, respectivamente. Na série 2004-2015 de validação não estava em operação a estação Fazenda Bandeira Branca que fora desativada em

1996, com a entrada em operação da estação Água Fria, restando 7 (sete) estações na análise de validação.

Figura 23 – Gráfico da disponibilidade temporal dos dados de precipitação na região de estudo



Fonte: o Autor

Os dados de vazões foram disponibilizados ao modelo com vistas a comparação de vazões observadas nas estações fluviométricas inventariadas e os valores calculados pelo MGB-IPH, na fase de calibração e validação dos parâmetros que governam as características físicas da área em estudo.

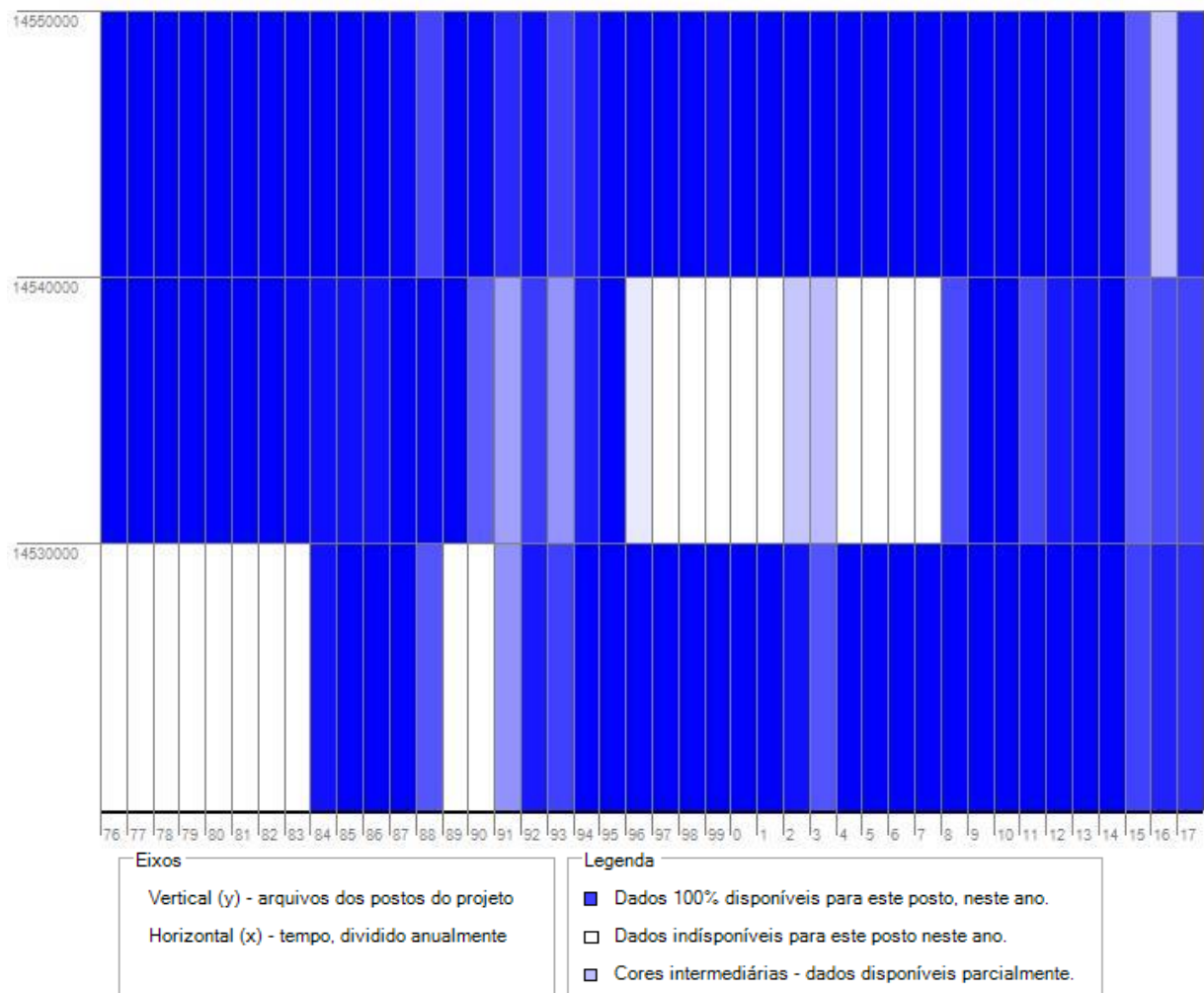
Os valores diários de vazão usados no estudo foram das 3 (três) estações fluviométricas inventariadas (Tabela 7) instaladas na área da bacia (Figura 22), sendo duas no rio Cotingo e uma no rio Surumu, sendo usados como ponto de controle na divisão em sub-bacias, conforme Figura 18.

Tabela 7 - Inventário das estações Fluviométricas na região em estudo

Código	Nome da Estação	Coordenadas	
		Long.	Lat.
14540000	FAZENDA BANDEIRA BRANCA	-60.7939	4.1961
14550000	MALOCA DO CONTÃO	-60.4706	4.6306
14530000	VILA SURUMU	-60.5289	4.1675

A Figura 24 apresenta o gráfico de disponibilidade temporal das 3 (três) estações inventariadas como base de calibração e validação dos parâmetros calibráveis do modelo, considerando o mesmo período de calibração 1985-2001 e o da validação de 2004-2015 definidos com base também na disponibilidade dos dados de precipitação.

Figura 24 – Gráfico da disponibilidade temporal dos dados fluviométricos na região de estudo



O processamento de dados climáticos foi realizado com uso da base interna do MGB-IPH de normais climatológicas do INMET, sendo estas normais constituídas pelo INMET com série histórica de 1960-1990. Para a região em estudo contamos com a estação Boa Vista (Cod. 00082024; Latitude: -2,817; Longitude: -60,650), usada como referência de dados climáticos (Tabela 8).

Tabela 8 – Normal climatológica, estação Boa Vista

Parâmetros	Meses											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura (°C)	27,5	28,0	28,4	28,0	26,9	25,9	25,8	26,6	27,7	28,2	28,0	27,6
Umidade do Ar (%)	70,8	66,4	66,3	70,7	78,9	84,9	84,2	81,3	76,2	74,1	72,3	72,5
Insolação (hs.dia ⁻¹)	5,7	5,3	4,6	4,3	4,5	3,1	4,4	5,0	6,7	6,6	6,5	5,6
Vento (m.s ⁻¹)	3,3	3,4	3,2	2,5	1,7	1,2	1,1	1,3	1,7	1,8	1,9	2,6
Pressão atmosférica (kPa)	99,9	99,8	99,8	99,8	99,9	100,0	100,1	100,1	99,9	99,8	99,9	99,9

5.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DA MODELAGEM

A calibração do modelo objetiva reproduzir os hidrogramas por meio de ajuste de parâmetros, sendo fase de muitas incertezas associadas ao processo, uma vez que existem as incertezas associados aos dados de entrada e ao próprio modelo, que é uma representação matemática do sistema real (BAYER, 2014).

A calibração da bacia hidrográfica do rio Surumu e a verificação foram realizadas nas 3 (três) sub-bacias com controle de dados fluviométricos, usando o período de calibração de 1985 a 2001, enquanto a validação o período de 2004 a 2015, levando em consideração o ano hidrológico de abril a março.

Nesta etapa, o trabalho utilizou o mapa das URHs elaborado por Nobrega et. al (2018), apresentado na Figura 15. A calibração visa inicialmente o ajuste de parâmetros associados a vegetação e superfície em cada URH, não sendo alterados ao longo do processo de calibração, e assim denominados parâmetros fixos, embora seus valores devem variar mensalmente ao longo do ano.

Os parâmetros fixos tratados no modelo são: Albedo, altura da vegetação, índice de área foliar, e resistência superficial em boas condições de umidade do solo, parâmetros decisivos no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith. Tais parâmetros

foram ajustados frente as características do uso e ocupação das terras na bacia, associado a fisionomia vegetal descrita na literatura, em especial da savana de Roraima.

Já os parâmetros denominados calibráveis, associados às URHs, microbacias e sub-bacias W_m (armazenamento máximo na camada do solo), b (parâmetro adimensional que representa a não-uniformidade da capacidade de armazenamento do solo), K_{bas} (parâmetro de escoamento subterrâneo), K_{int} (parâmetro de escoamento da camada subsuperficial), XL (parâmetro da curva de drenagem subsuperficial), DM_{cap} (parâmetro que controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada subsuperficial do solo), W_c (parâmetro de armazenamento residual), C_s (parâmetro de propagação superficial), C_i (parâmetro de propagação subsuperficial), C_B (parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo) e Q_B (vazão unitária de base), foram fixados considerando as características físicas da URHs, como unidade de paisagem e tendências de comportamento hidrológicos descritos na literatura e da própria condição dos fatos atuantes e modeladores da geomorfologia.

A calibração foi realizada de forma manual, por tentativa e erro, sendo observado no visual o comportamento dos hidrogramas observados e simulados, bem como usando funções objetivas com os índices estatísticos de eficiência de Nash e Sutcliffe entre vazões observadas e simuladas (E_{NS}), índice de eficiência de Nash e Sutcliffe entre o logaritmo das vazões observadas e simuladas (E_{NSlog}) e o erro no volume total (ΔV), comumente usados em aplicações do modelo MGB-IPH ou estudos hidrológicos, para avaliar a capacidade do modelo e formas de discretização em representar o observado.

O Índice de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970), indica o quanto as predições do modelo são melhores que aquelas de um modelo que prevê simplesmente a média dos dados observados (PAIVA, 2009), sendo calculado conforme a equação 15.

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum(Q_t^{obs} - Q_t^{calc})^2}{\sum(Q_t^{obs} - \overline{Q^{obs}})^2} \quad (15)$$

Onde: E_{NS} (adimensional) é o índice de Eficiência de Nash e Sutcliffe, Q_t^{obs} as vazões observadas no intervalo de tempo t , Q_t^{calc} as vazões calculadas no intervalo de tempo t , $\overline{Q^{obs}}$ a média das vazões observadas.

Valores de E_{NS} iguais a 1 indicam perfeita concordância entre os dados observados e simulados, enquanto que valores negativos indicam que a média dos dados observados é um melhor preditor que os resultados do modelo.

Em muitos casos, devido à diferença na ordem de grandeza das vazões máximas e mínimas, a estatística E_{NS} não revela erros significativos nas vazões mínimas. Assim, a fim de avaliar o desempenho do modelo em estiagens utiliza-se o Índice de Eficiência de Nash e Sutcliffe do logaritmo das vazões (PAIVA, 2009), calculado pela equação 16.

$$E_{NSlog} = 1 - \frac{\sum(\log Q_t^{obs} - \log Q_t^{calc})^2}{\sum(\log Q_t^{obs} - \overline{\log Q^{obs}})^2} \quad (16)$$

Onde: $\log Q_t^{obs}$ é o logaritmo das vazões observadas no intervalo de tempo t , $\log Q_t^{calc}$ é o logaritmo das vazões calculadas no intervalo de tempo t , $\overline{\log Q^{obs}}$ é o logaritmo das médias das vazões observadas.

O erro no volume total (ΔV) é dado pela equação 17.

$$\Delta V = \frac{\sum Q_t^{calc} - \sum Q_t^{obs}}{Q_t^{obs}} \quad (17)$$

Outra análise comparativa das vazões observadas em relação as simuladas é o Erro Sistemático (ES), dado pela equação 18.

$$ES = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - y_i)}{x_i} \times 100 \quad (18)$$

Onde: o n é o número de componentes da série, x_i os valores da varável observada e y_i são os valores da varável estimada.

Para a avaliação dos impactos da alteração do uso e ocupação das terras no comportamento hidrológico da bacia do rio Surumu, foram simulados cenários de alteração da savana em modelados aplanamento e acumulação em percentuais de 20% e 50% para agricultura, denominados C20 e C50, respectivamente, definindo novas URHs para cada cenário e comparando os impactos no comportamento hidrológico, através das vazões de referência, em relação ao cenário atual de uso e ocupação.

A definição dos cenários de alterações em modelados de aplanamento e acumulação, justifica-se pelas características de solos associados aos modelados em curso, inclusive sendo o processo geomorfológico formadores destes solos com potencial para uso agrícola, mesmo diante de restrições de fertilidade, acidez, etc, relatados por Vale Junior et al. (2011); Melo;

Schaefer; Uchôa (2010); Benedetti et al., (2011), não sendo foco de discussão neste trabalho.

A impossibilidade de prevê a forma e área de abrangência da mudança no uso e ocupação da terra nesta bacia não invalida o resultado, visto do objetivo ser a avaliação do impacto com uso de modelo hidrológico, não sendo esgotado, mas sim iniciado um processo de conhecimento de tendências e rumos da mudança do comportamento hidrológico na savana com a ferramenta MGB-IPH.

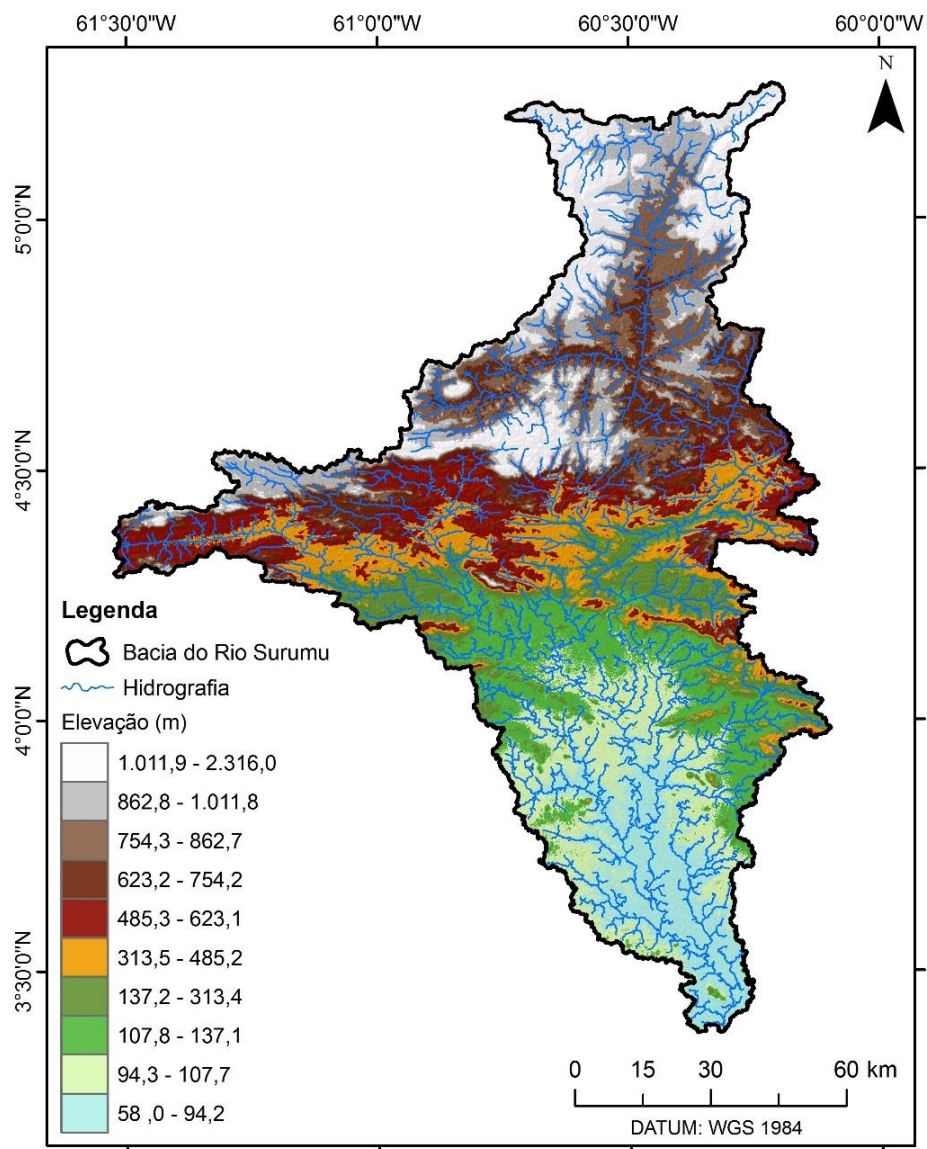
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SURUMU

Definição da área de estudo, sua delimitação e discretização são informações de referência para modelagem hidrológica e avaliação de impactos nos recursos hídricos nesta bacia de savana, na condição atual e futura de uso e ocupação do solo.

A Figura 25 apresenta a delimitação da bacia do rio Surumu associada ao modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEHC) e a rede de drenagem gerada na ferramenta IPH-Hydro Tools.

Figura 25 - Modelo Digital de Elevação da bacia do rio Surumu

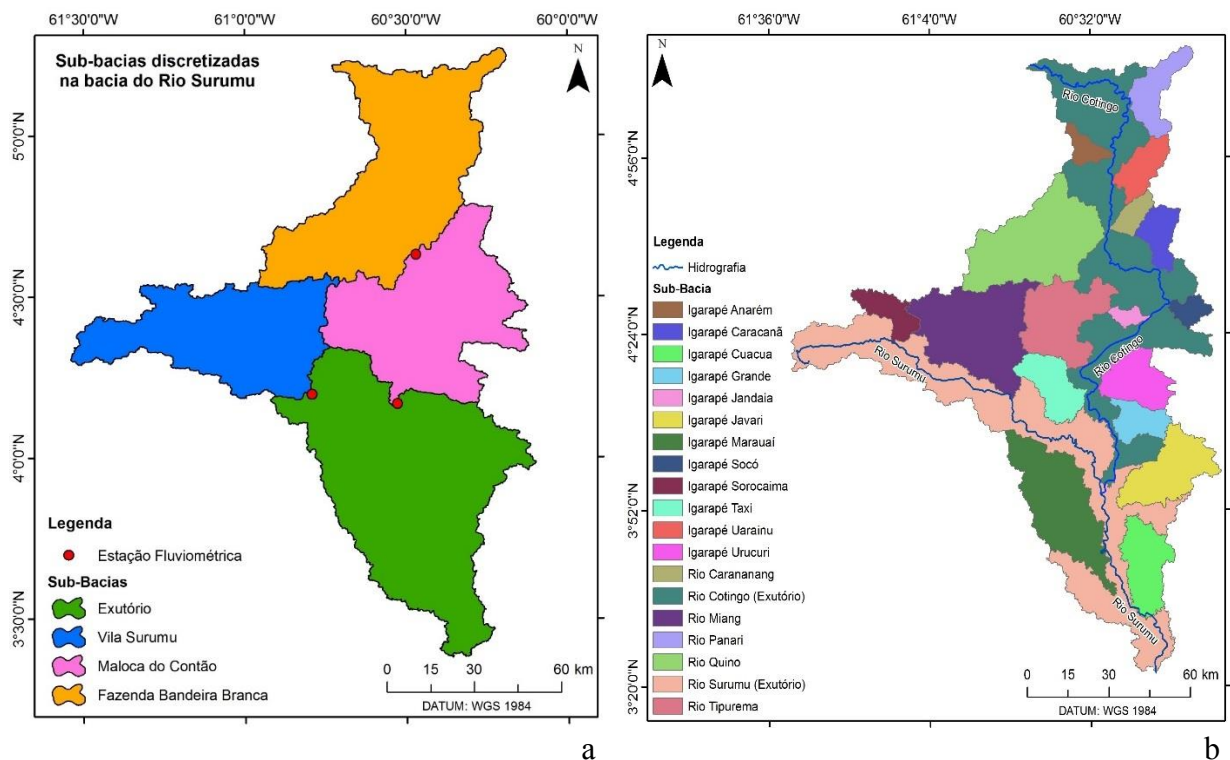


Fonte: o Autor

A bacia do Surumu apresenta uma elevação variando de 58 a 2.316 metros de altitude, amplitude de elevação de 2.258 metros, com maiores elevações no extremo norte, região do monte Roraima, cabeceira do rio Cotingo e na região noroeste, nascentes do rio Surumu, regiões com predomínio de floresta, sendo menores elevações ao sul da bacia região típica de savana.

Na discretização da bacia foram considerados a definição da rede de drenagem com grau de ramificações adotadas, bem como os pontos de controles definidos pelas estações fluviométricas, sendo a bacia do rio Surumu dividida em 4 (quatro) sub-bacias (Figura 26a), onde foram interpolados os dados hidrometeorológico, caracterizado as URHs e apresentados os resultados das simulações hidrológicas no modelo MGB-IPH, além das 18 (dezoitos) sub-bacias dos principais afluentes dos Rios Surumu e Cotingo (Figura 26b).

Figura 26 - Mapa de Discretização em Sub-Bacias (a) e sub-bacias dos principais afluentes dos Rios Surumu e Cotingo (b)



A Tabela 9 apresenta as áreas características da divisão da bacia do Rio Surumu, configurando os pontos de controles para observações do comportamento hidrológico visto os resultados das simulações no modelo MGB-IPH.

Tabela 9 - Áreas das sub-bacias estudadas na bacia do Rio Surumu

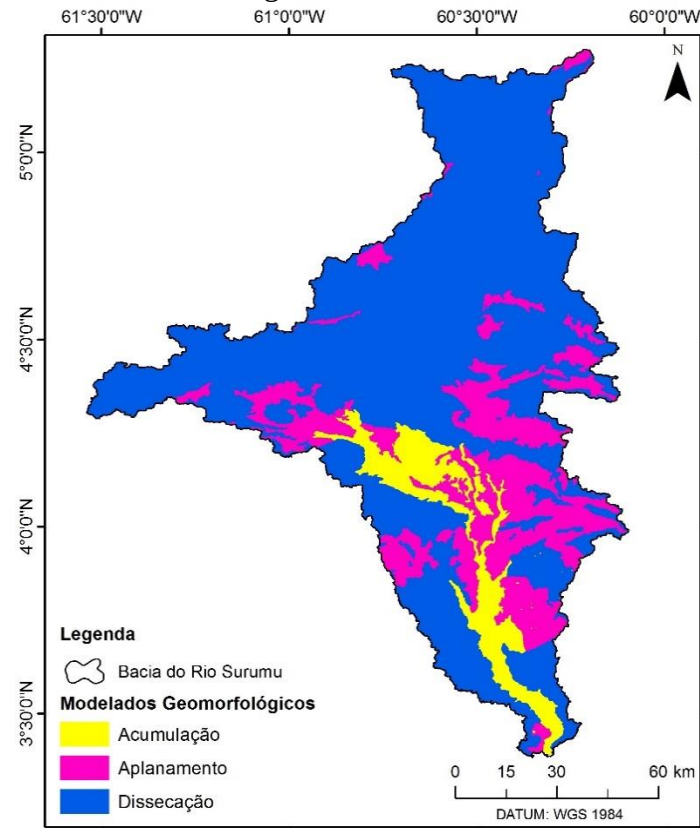
Sub-Bacia	Área (km²)	Área Acumulada (km²)
Fazenda Bandeira Branca (Rio Cotingo)	3.241,9	3.241,9
Vila Surumu (Rio Surumu)	2.298,8	2.298,8
Maloca do Contão (Rio Cotingo)	2.637,1	5.879,0
Igarapé do Socó		108,1
Igarapé Jandaia		65,69
Rio Carananang		121,81
Igarapé Grande		216,18
Rio Caracanã		218,91
Igarapé Uarainu		242,36
Rio Tipurema		668,1
Rio Panari		310,07
Igarapé Anarém		114,48
Rio Quino		1.948,03
Igarapé Urucuri		375,44
Rio Cotingo (Exutório)		6.357,03
Igarapé Marauaí		945,9
Igarapé Sorocaima		211,3
Igarapé Cuacua		430,06
Rio Miang		1.120,23
Igarapé Táxi		339,97
Igarapé Javari		547,23
Exutório do Surumu (Rio Surumu)	1.248,57	12.664,14

6.2 UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA (URH)

A geomorfologia na bacia do rio Surumu apresenta características dos modelados de acumulação, aplainamento e dissecação, além de áreas alagadas (água), não sendo encontrada unidade mapeada do modelado de dissolução (Figura 27), com base no mapeamento geomorfológico foi extraído do banco de Dados Digital de Geomorfologia da Amazônia Legal (IBGE, 2009). Em relação as classes de uso e cobertura da terra, foram observadas na bacia

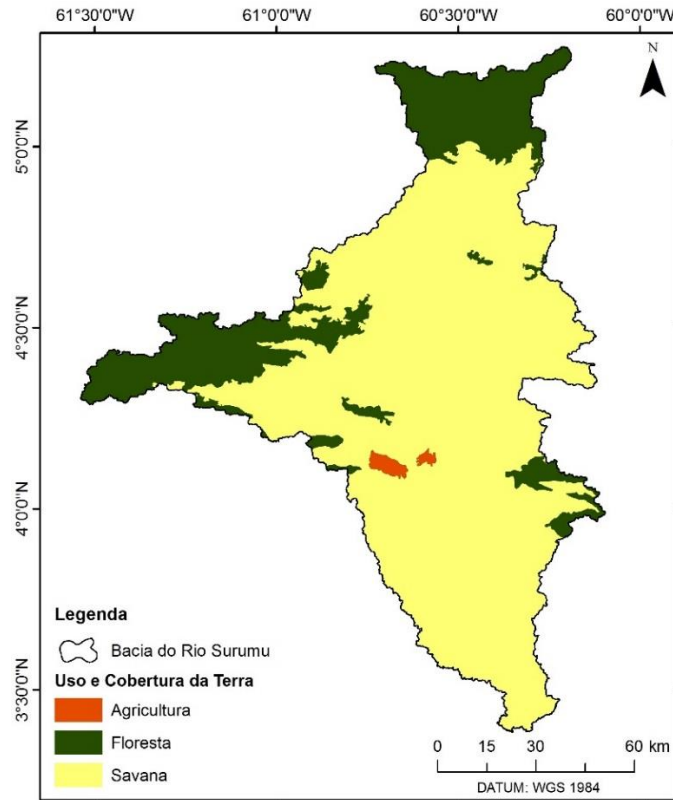
hidrográfica em análises áreas agrícolas, de florestal e savana, (Figura 28), frente a base de Dados Digital de uso e cobertura da terra para o estado de Roraima (IBGE, 2014) e reclassificado, conforme IBGE (2013).

Figura 27 - Características Geomorfológicas da bacia do rio Surumu.



Fonte: Nobrega et al. (2018)

Figura 28 - Características do uso e cobertura da terra da bacia do rio Surumu



Fonte: Nobrega et al. (2018)

As similaridades da característica do modelado na bacia do Surumu com a Amazônia foram descritas por Nobrega et. al. (2018), visto formas de relevo predominantes na Amazônia Legal apresentado por IBGE (2009) distribuídas em dissecação ocupado 73,78%, os relevos planos (aplanamentos) com 13% do território, os de dissolução (relevos em rochas calcárias) ocupam 0,08% da área, enquanto as planícies sujeitas a inundações temporárias (chamadas de acumulações) estão em 13,14% da região, sendo quase metade disso (7% do total) representado pela Planície Amazônica, formada pelos rios Solimões, Amazonas e seus afluentes.

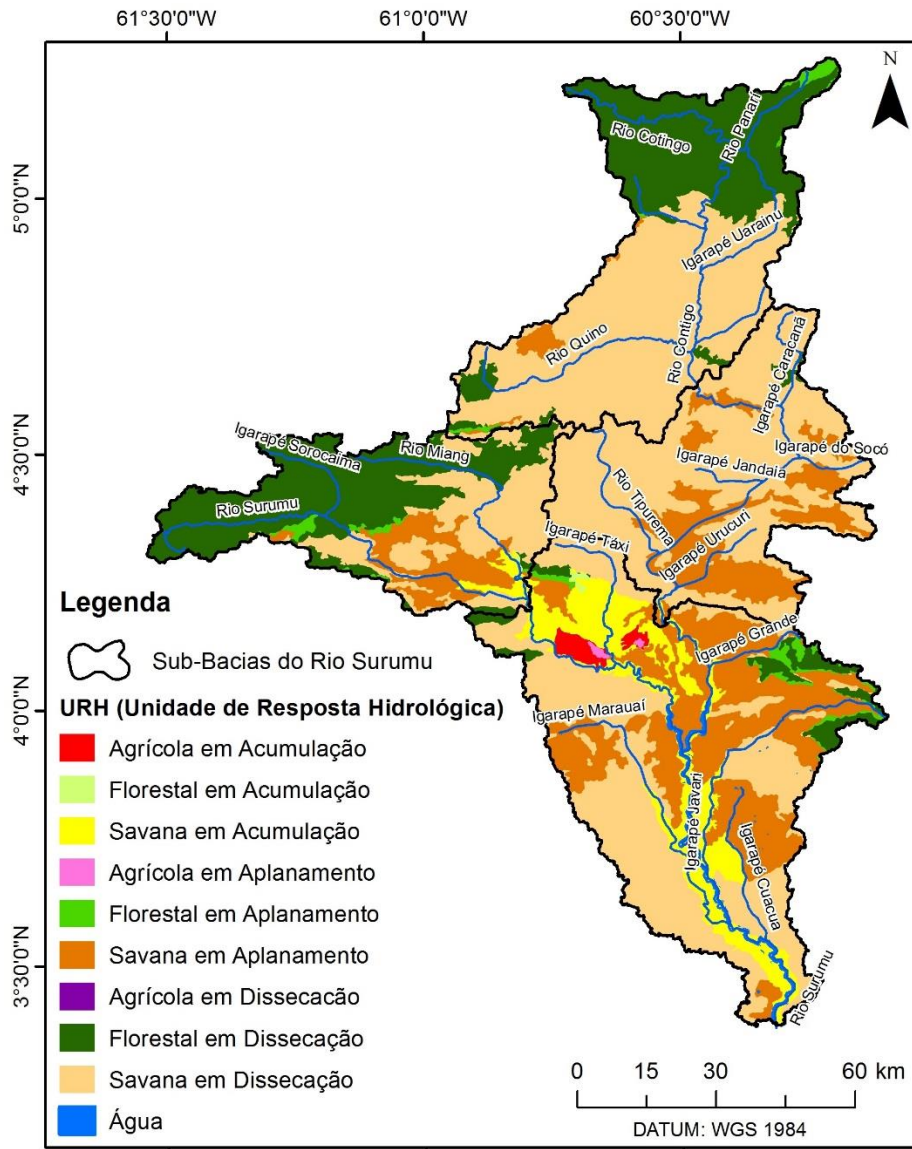
A totalização das áreas dos modelados e seus respectivos percentuais da área total da bacia em estudo, associados ao uso e ocupação da terra compondo assim as URHs do Surumu, estão dispostos na Tabela 10 e Figura 29.

Tabela 10 - Distribuição de áreas das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) na Bacia do Surumu.

URH	SUB-BACIAS						Exutório	
	Faz. Band. Branca		Vila Surumu		Maloca do Contão			
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Agrícola em Dissecação	-	-	-	-	-	-	-	-
Florestal em Dissecação	1165.0	35.9	1179.0	51.4	1181.8	20.1	2556.7	20.2
Savana em Dissecação	1974.0	60.9	688.8	30.0	3934.5	66.9	6486.0	51.2
Agrícola em Aplanamento	-	-	-	-	-	-	10.6	0.1
Florestal em Aplanamento	43.9	1.4	44.1	1.9	43.9	0.7	156.1	1.2
Savana em Aplanamento	59.1	1.8	318.4	13.9	713.1	12.1	2457.6	19.4
Agrícola em Acumulação	-	-	-	-	-	-	64.0	0.5
Florestal em Acumulação	-	-	2.8	0.1	-	-	11.9	0.1
Savana em Acumulação	-	-	61.7	2.7	5.7	0.1	895.8	7.1
Água	-	-	-	-	-	-	25.4	0.2
Totais	3.241,9	100	2.294,8	100	5.879,0	100	12.664,1	100

Dos tipos de modelados dos fatos geomorfológicos observados na bacia do Surumu a dissecação é o mais atuante com 71,4% da área da bacia, seguido de 20,7% de aplanamento, 7,7% de acumulação, com uso e ocupação das terras em 77,7% de ambientes de savana, 21,5% de floresta e o restante em uso agrícola (0,6%) e áreas alagadas (0,2%).

Figura 29 - Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) e principais cursos d'água da bacia do rio Surumu



Fonte: o Autor

Maiores compartimentos da savana encontram-se em modelado de dissecação em ambiente geomorfológico em ativa movimentação (VALE JUNIOR et al., 2011), ocupando 51,2% da totalidade da bacia, com 66,9% em áreas das sub-bacias Fazenda Bandeira Branca e Maloca do Contão.

Os ambientes de floresta em dissecação quase sua totalidade estão em áreas das sub-bacias Fazenda Bandeira Banca e Vila Surumu, com destaque para maior abrangência na Vila Surumu com hegemonia da floresta em modelado de dissecação.

Tais observações foram fundamentais para aproximação na calibração do modelo, com valores dos parâmetros em aderência as feições das URHs, em especial as feições de uso

e ocupação imposta pela geomorfologia, e considerando as vazões nas sub-bacias com dados de vazão para ajustes estatísticos.

Para simulação do comportamento hidrológico na bacia do rio Surumu com os cenários de uso e ocupação da terra, considerando expansão da agricultura em 20% (C20) e 50% (C50) em substituição de áreas de savana nos modelados de aplanamento e acumulação, tem-se novas URHs, conforme Tabela 11 e Figura 30, com seus respectivos percentuais de abrangência na totalidade da bacia do rio Surumu.

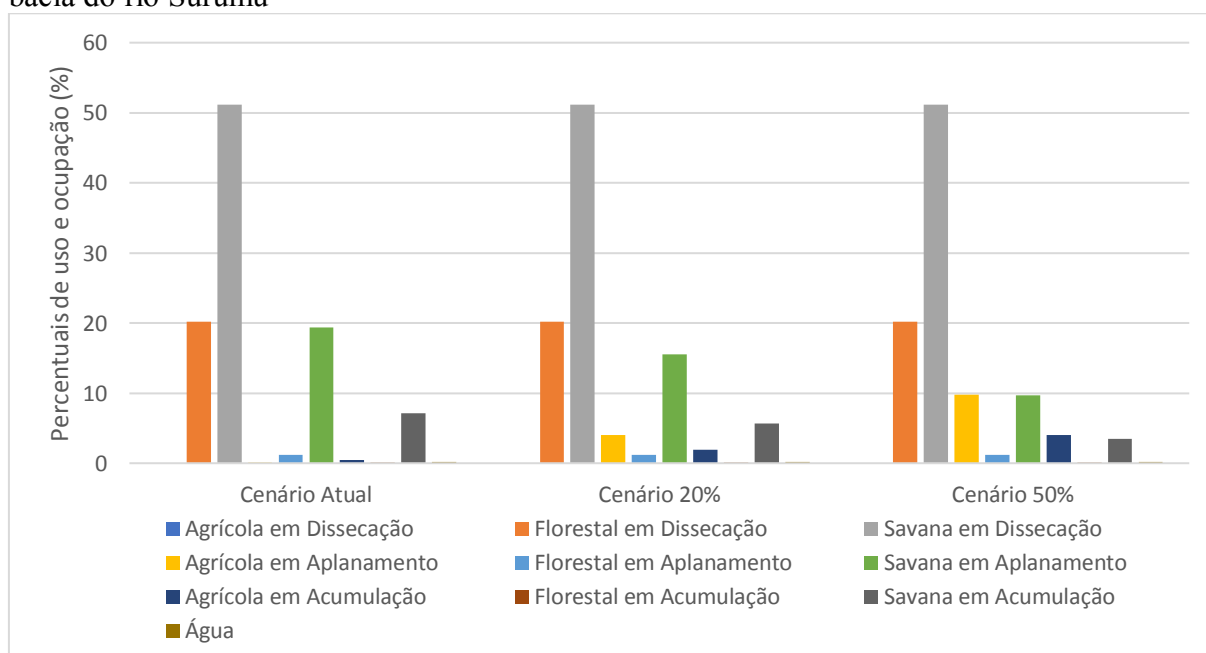
As alterações nas URHs foram processadas e distribuídas em todas as minibacias, sendo estas associadas as sub-bacias e assim a totalidade da bacia do rio Surumu. Deste modo, é possível verificar o impacto destas alterações no componente hidrológico em cada sub-bacia das estações pluviométricas de controle e nos principais rios em destaque na Figura 26.

O aparecimento de regiões de interesses, frente a instrumentos como zoneamento econômico-ecológico, pode ser recortado e monitorado quanto ao comportamento hidrológico dentro de um cenário de previsibilidade tratada neste estudo, frente as faixas de modificação do uso e ocupação.

Tabela 11 - Distribuição de áreas das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) na Bacia do Surumu frente a mudança no uso e ocupação das terras.

URH	Bacia do Rio Surumu					
	Cenário Atual		Cenário 20% (C20)		Cenário 50% (C50)	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Agrícola em Dissecação	-	-	-	-	-	-
Florestal em Dissecação	2.556,7	20,2	2.556,7	20,2	2.556,7	20,2
Savana em Dissecação	6.486,0	51,2	6.486,0	51,2	6.486,0	51,2
Agrícola em Aplanamento	10,6	0,1	502,2	4,0	1.239,4	9,8
Florestal em Aplanamento	1.56,1	1,2	156,1	1,2	156,1	1,2
Savana em Aplanamento	2.457,6	19,4	1.966,1	15,5	1.228,8	9,7
Agrícola em Acumulação	64,0	0,5	243,2	1,9	511,9	4,0
Florestal em Acumulação	11,9	0,1	11,9	0,1	11,9	0,1
Savana em Acumulação	895,8	7,1	716,6	5,7	447,9	3,5
Água	25,4	0,2	25,4	0,2	25,4	0,2

Figura 30 – Alteração das URHs devido cenários propostos do uso e cobertura da terra da bacia do rio Surumu



Os cenários adotados mantêm o uso do modelado de savana e floresta em dissecação, bem como a floresta em aplanamento e acumulação ficam preservadas.

No modelado de aplanamento o reflexo dos cenários em uso, induz um incremento de 0,1% atual de uso agrícola para 4% e 9,8%, já no modelado de acumulação, o reflexo de incremento dos 0,5% atual para 1,9% e 4,0% do território da bacia do rio Surumu, para os cenários de 20% (C20) e 50% (C50), respectivamente, de mudanças no uso e cobertura da terra.

6.3 INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS

As distribuições das precipitações na bacia do Surumu, com análise das 8 (oito) estações pluviométricas inventariadas, são apresentadas na Figura 31, mostrando o comportamento dos valores médios mensais, sendo observado características de período chuvoso de abril a setembro e período seco de outubro a março, com o trimestre mais chuvoso nos meses de maio, junho e julho, enquanto o mais seco em janeiro, fevereiro e março.

Nas estações Bonfim, Maloca do Contão e Nova Esperança/Marco BV-8 são registradas as maiores médias mensais no período chuvoso, sendo observado para a Nova Esperança/Marco BV-8 e Maloca do Contão uma melhor distribuição das médias na totalidade do ano, com destaque para a Nova Esperança/Marco BV-8 na relativa manutenção das precipitações no ciclo do período seco, acompanhada pelas regiões da Maloca do Contão e Vila Surumu.

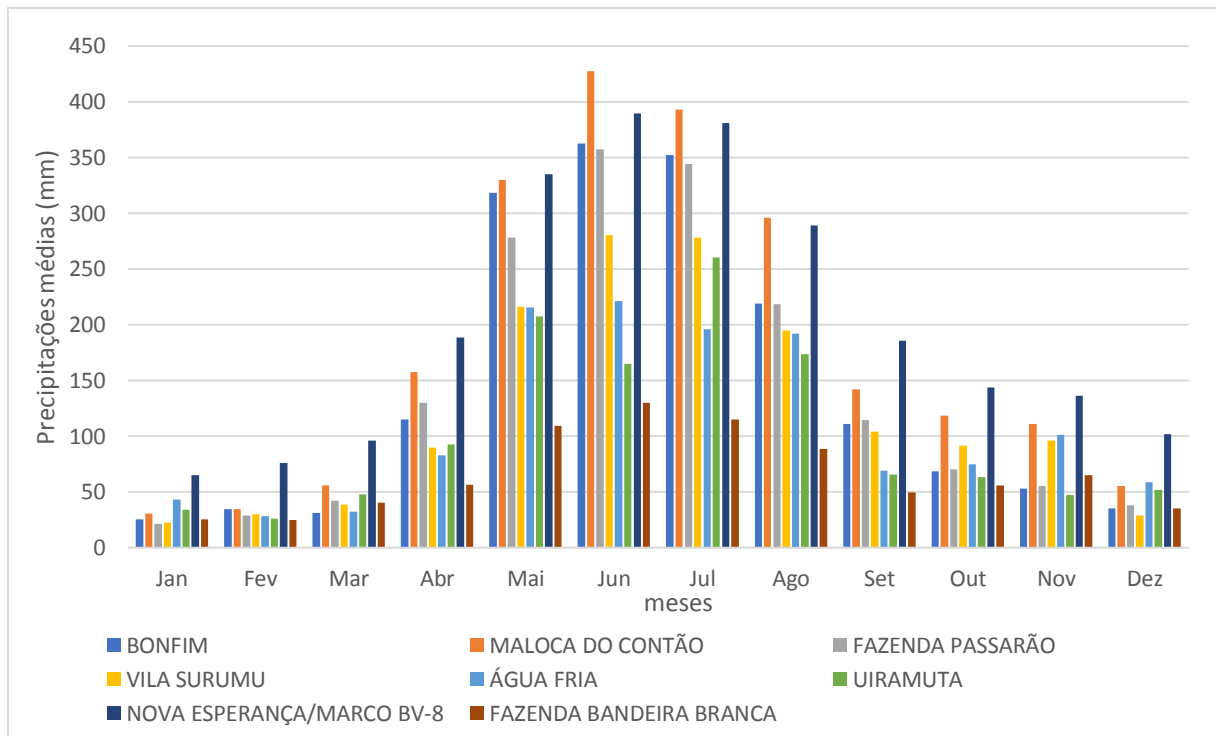
As precipitações médias anuais por sub-bacias são apresentadas com valores da série do período de calibração (1984-2001) e para a série de validação (2004-2015). Para a primeira série são observados valores de 1.583,4 mm, 1.887,2 mm, 1.567,4 mm e 1.565,4 mm nas sub-bacias da Fazenda Bandeira Branca, Vila Surumu, Maloca do Contão e Exutório, respectivamente, enquanto para a série de 2004-2015, foram observados dos valores de 1.442,5 mm, 2.271,3 mm, 1447,8 mm e 1.616,9 mm, para a mesma sequência das sub-bacias, e precipitação média anual de 1.660,0 mm na bacia do rio Surumu.

São observadas mudanças nas normais de precipitação nas quatro sub-bacias discretizadas, com maior amplitude para a sub-bacia da Vila Surumu, com variações de 384,1 mm de incremento na média anual.

As regiões com melhor distribuição das precipitações durante o ano e a visualização de áreas com concentração destas no período chuvoso, confirmam o controle geomorfológico

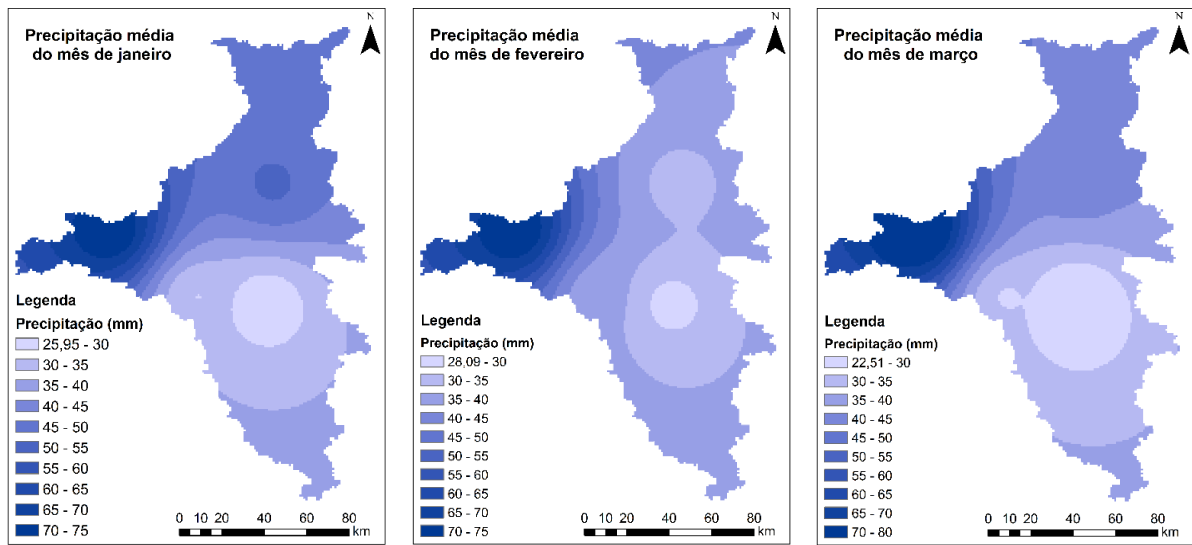
na distribuição dos solos amazônicos (SCHAEFER et al., 2000; LIMA, 2001; MELO; SCHAEFER; UCHÔA, 2010; VALE JUNIOR et al. 2011; BENEDETTI et al., 2011), na ocorrência de vegetações abertas, fechadas (EVANGELISTA; SANDER; WANKLER, 2008; SANDER, 2015) e nas especificidades ecológicas e florísticas (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

Figura 31 – Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas



A distribuição das precipitações médias, através do processo de interpolação por meio do inverso do quadrado da distância dos dados pontuais observados nas 8 (oito) estações, é apresentada nas figuras 32 e 33 para trimestre mais seco e o trimestre mais chuvoso, respectivamente.

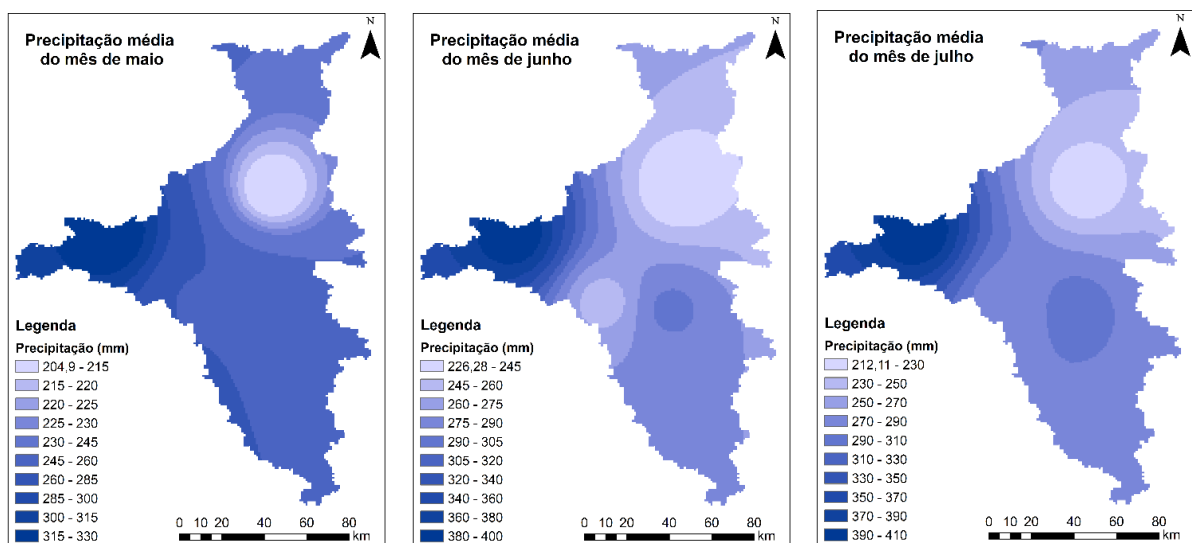
Figura 32 – Distribuição das precipitações mensais do trimestre mais seco (janeiro a março) na bacia do rio Surumu



Observam-se concentrações de menores valores (20-35 mm) das precipitações sendo distribuídos no centro-sul da bacia (baixo Surumu), enquanto o centro-oeste e norte (alto Surumu e Cotingo) valores maiores (60-80 mm) de mínimas encontrados.

Quando do trimestre mais chuvoso (Figura 33) são visualizadas médias mensais de precipitações maiores (300-410 mm) no centro-oeste (alto Surumu), sul (baixo Surumu) e extremo norte (alto Cotingo), enquanto valores menores (200-280 mm) no centro-leste (baixo Cotingo) da bacia.

Figura 33 – Distribuição das precipitações mensais do trimestre mais chuvoso (maio a julho) na bacia do rio Surumu



O número de 8 (oito) estações para a bacia com área de 12.664,1 km² implica em uma densidade de 1.583 Km² por estação, que compreende um déficit mínimo de 12 (doze) novas estações pluviométricas, conforme critérios de densidade mínima para estações pluviométricas em bacias hidrográficas por WMO (2008), pois arbitrando a bacia do Surumu como unidade fisiográfica de planície interiorana seriam necessárias 20 estações visto a recomendação de uma densidade de 575 km²/pluviômetro.

6.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A discretização com URHs composta de característica da forma de modelado do relevo, e sendo estas características, associadas ao clima, a grande influência na estrutura da paisagem na bacia hidrográfica de savana, foi possível uma melhor definição dos parâmetros índice de área foliar (IAF), resistência superficial (rs), altura média da vegetação (h) e albedo (α), de acordo com os valores encontrados na literatura, mas com melhores descrições fisionômica da vegetação.

Assim, savanas e florestas apresentam-se com classificação distintas dependendo do ambiente geomorfológica onde fora encontrada. Destaque para Barbosa; Miranda (2005) na relação desta classificação aos ambientes, influenciando valores dos parâmetros fixos ligados ao uso e ocupação da terra, frente ao ambiente geomorfológico encontrado. Os valores e critérios para sua definição dos parâmetros de vegetação são apresentados na Tabela 12.

Os valores dos parâmetros característicos da vegetação foram definidos conforme padrões da literatura por Bayer; Collischonn (2013); Bayer (2014) e características fitofisionomias da vegetação/modelados por Barbosa; Miranda (2005). As faixas de valores dos parâmetros e suas respectivas URHs na Tabela 12 estão representados por período chuvoso e seco, respectivamente, quando listados em pares, e valores únicos se considerados sem alteração da fitofisionomia no ano hidrológico, exceto para URHs de uso agrícola.

Tabela 12 - Parâmetros relativos às características da vegetação (albedo (α), índice de área foliar (IAF), resistência superficial (rs) e altura (h)) e critério de definição.

URHs	Parâmetro				Critério de definição
	(α)	(IAF)	(rs)	(h)	
1	0,2 – 0,35	3,0 – 0,5	100-200	0,5	Culturas baixas/calendário agrícola chuvoso e solo exposto no período seco
2	0,13	5,0	50	15	Floresta Ombrófilas
3	0,13 – 0,18	1,0 – 0,4	80-100	0,5	Savana período úmido e seco
4	0,2 – 0,35	3,0 – 0,5	100-200	0,5	Culturas baixas/calendário agrícola chuvoso e solo exposto no período seco
5	0,10	2,0	70	10	Floresta Ombrófilas aberta
6	0,14 – 0,19	2,3 – 1,15	120-140	1,0	Savana estépica período úmido e seco
7	0,2	3,0	100	0,5	Culturas baixas em várzeas, calendário agrícola chuvoso e no período seco
8	0,13	5,0	60	10	Pequenas ilhas de florestas e matas de Galeria. Regiões mais úmidas que no aplanamento
9	0,13 – 0,18	1,0-0,5	140-180	0,5	Savana período úmido e seco
10	0,08	1,0	0,0	0,1	
Legenda:		1 - Agrícola em Dissecação		2 - Florestal em Dissecação	
3 - Savana em Dissecação		4 - Agrícola em Aplanamento		5 - Florestal em Aplanamento	
6 - Savana em Aplanamento		7 - Agrícola em Acumulação		8 - Florestal em Acumulação	
9 - Savana em Acumulação		10 - Água			

As URHs com definição de uso agrícola foram tratadas na condição de manejo de cultivo no período chuvoso e assim parâmetros de literatura para cultivos agrícolas baixos e de solo exposto no período seco, quando associados aos modelados de dissecação e aplanamento.

Com uso e ocupação agrícola em modelados de acumulação tem-se os principais sistemas de cultivo em várzea, em especial do arroz, utilizados pelos produtores em Roraima a irrigação por inundação contínua, e o sistema de várzeas úmidas, sendo, este último, somente utilizado no período chuvoso (CORDEIRO et al., 2010; BARBERENA; MEDEIROS; BARBOSA, 2011).

As Tabelas 13, 14, 15 e 16 apresentam a distribuição dos valores mensais adotados no estudo para os parâmetros de vegetação albedo, índice de área foliar, altura e resistência superficial, respectivamente.

Tabela 16 – Valores mensais do parâmetro resistência superficial ($s.m^{-1}$)

URH	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	200	200	200	100	100	100	100	100	100	200	200	200
2	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
3	100	100	100	80	80	80	80	80	80	100	100	100
4	200	200	200	100	100	100	100	100	100	200	200	200
5	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
6	140	140	140	120	120	120	120	120	120	140	140	140
7	200	200	200	100	100	100	100	100	100	200	200	200
8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
9	180	180	180	140	140	140	140	140	140	180	180	180
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Os parâmetros calibráveis W_m , b , K_{bas} , K_{int} , XL , CAP , WC , CS , CI e CB associados as URHs foram otimizados considerando resultados das funções objetivo do índice de eficiência de Nash e Sutcliffe entre vazões observadas e simuladas (ENS), do índice de eficiência de Nash e Sutcliffe entre o logaritmo das vazões observadas e simuladas (ENSlog) e o erro no volume total (ΔV), para as 2 (duas) sub-bacias com pontos de controle nas estações Vila Surumu (Sub-bacia 02) e Maloca do Contão (Sub-bacia 03).

Não foram associados as funções objetivas a sub-bacia 3 (fluviométricas Fazenda Bandeira Branca), visto as falhas na série (1996-2007) dos dados observados de vazão (Figura 24) e sua área de drenagem ser comum a estação Maloca do Contão.

O procedimento de calibração em “n” pontos de controle e “m” URHs concretiza um conjunto $n \times m$ de parâmetros, com valores distintos para uma mesma URHs em sub-bacia diferente, sendo mecanismo comum em estudos com uso do MGB-IPH (PAIVA, 2009), objetivando minimizar possíveis erros nos dados de precipitação e de clima, bem como falhas em do modelo em representar todos os processos hidrológicos.

Os parâmetros foram calibrados associando-os as URHs e as respectivas sub-bacias. Na tabela 17 são apresentados valores calibrados para sub-bacia 2 (estação Vila Surumu) e na Tabela 17 os parâmetros de calibração comuns as sub-bacia 1 (estação Fazenda Bandeira Branca), sub-bacia 3 (Maloca do Contão) e sub-bacia 4 no trecho baixo do rio Surumu (exutório).

Tabela 17 – Parâmetros calibrados do modelo MGB-IPH para sub-bacia 2 (Vila Surumu)

URH	Wm	b	Kbas	Kint	CS	CI	CB	Qb (m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²)
1	263,9	0,1	2,61	3,03				
2	450	0,2	3,22	5,49				
3	300	0,15	2	4,45				
4	380,6	0,1	4,3	3,2				
5	659,8	0,2	5,16	6,86				
6	444,9	0,15	3,27	4,59	1,19	50,31	600,79	0,01
7	496,8	0,1	2,13	4,7				
8	898,1	0,2	3,15	9,61				
9	669,4	0,15	4,92	5,95				
10	0	0	0	0				
Legenda:			1 - Agrícola em Dissecação	2 - Florestal em Dissecação				
3 - Savana em Dissecação			4 - Agrícola em Aplanamento	5 - Florestal em Aplanamento				
6 - Savana em Aplanamento			7 - Agrícola em Acumulação	8 - Florestal em Acumulação				
9 - Savana em Acumulação			10 - Água					

Tabela 18 – Parâmetros calibrados do modelo MGB-IPH para sub-bacia 3 (Maloca do Contão) e sub-bacia 4 (Exutório)

URH	Wm	b	Kbas	Kint	CS	CI	CB	Qb (m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²)
1	263,9	0,1	2,61	3,03				
2	450	0,25	4,22	15,49				
3	300	0,15	3	10,45				
4	380,6	0,1	4,3	3,2				
5	659,8	0,2	5,16	6,86				
6	444,9	0,25	4,27	12,59	1,19	50,31	1400,79	0,01
7	496,8	0,1	2,13	4,7				
8	898,1	0,2	3,15	9,61				
9	669,4	0,15	4,92	5,95				
10	0	0	0	0				
Legenda:			1 - Agrícola em Dissecação	2 - Florestal em Dissecação				
3 - Savana em Dissecação			4 - Agrícola em Aplanamento	5 - Florestal em Aplanamento				
6 - Savana em Aplanamento			7 - Agrícola em Acumulação	8 - Florestal em Acumulação				
9 - Savana em Acumulação			10 - Água					

Os parâmetros $XL=0,3$, $CAP = 0$, $WC = 0,1$, foram pré-estabelecidos para calibração e únicos para todas as sub-bacias, visto a baixa sensibilidade das funções objetivas aos parâmetros em curso (COLLISCHONN, 2001).

Frente as Tabelas 17 e 18, pode-se observar a manutenção dos padrões dos parâmetros Wm, CS, CI e Qb com valores iguais das respectivas URHs nas sub-bacias com funções objetivas calibradas. Para o melhor ajuste dos valores das funções objetivas foram calibrados os parâmetros b, Kbas, Kint e CB em distintos para as duas sub-bacias de controle.

O número reduzido de divergência dos parâmetros para mesma URH em sub-bacia distintas, implica em maior aderência dos parâmetros do modelo aos fatores e características físicas das URHs. Outro ponto tratado na calibração foi a proporcionalidade dos parâmetros frente as características e respostas das unidades, em especial quanto a capacidade de armazenamento para cada modelado, considerando crescente na sequência do modelado de dissecação com valores menores que o modelado de aplanamento, que é inferior ao armazenamento no modelado de acumulação.

Mesmo comportamento crescente de armazenamento são observados para as URHs quanto a tipologia de uso e ocupação, sendo a floresta influenciando para maior armazenamento, seguindo da savana e os menores valores para a agricultura.

A Tabela 19 apresenta valores das funções objetivas no período de calibração (1985-2001) e na validação (2004-2015) para os dois postos de controle, sendo sub-bacia 2 (Vila Surumu) e sub-bacia 3 (Maloca do Contão).

Tabela 19 – Valores das funções objetivas para as sub-bacias de controle

Sub-Bacia	Calibração			Validação		
	E_{NS}	E_{NSlog}	$\Delta V(\%)$	E_{NS}	E_{NSlog}	$\Delta V(\%)$
VILA SURUMU	0,25	0,6	-17,5	0,51	0,78	1,7
MALOCA DO CONTÃO	0,42	0,6	-20,0	0,35	0,58	-26,4

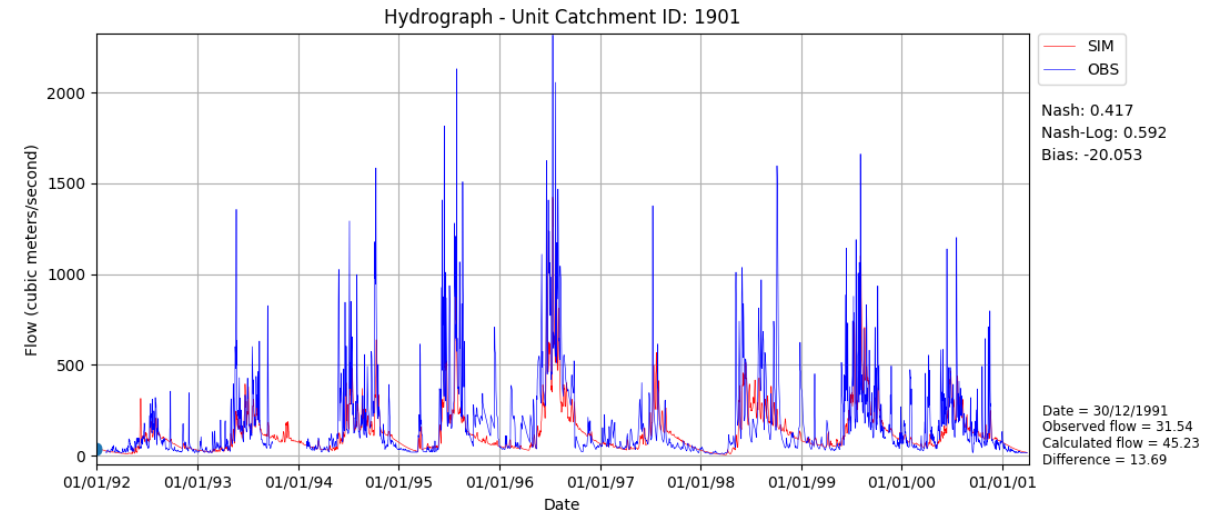
Os índices de erros dos valores simulados em comparação aos observados na calibração e simulação são bem similares para a sub-bacia Maloca do Contão, enquanto a sub-bacia Vila Surumu apresenta uma melhora significativa nos índices, em especial a variação no volume, saindo -17,5% para 1,7%.

O impacto positivo nos índices de eficiência de Nash e Sutcliffe e no seu valor logaritmo na sub-bacia Vila Surumu associa-se à redução do erro no volume total, bem como a redução dos mesmos índices para a sub-bacia Maloca do Contão, sendo observado aumento no erro dos volumes, confirmando o descrito por Collischonn, (2001); Paiva, (2009) que parte dos valores baixos encontrados de E_{NS} e E_{NSlog} se deve aos elevados erros no volume total (ΔV).

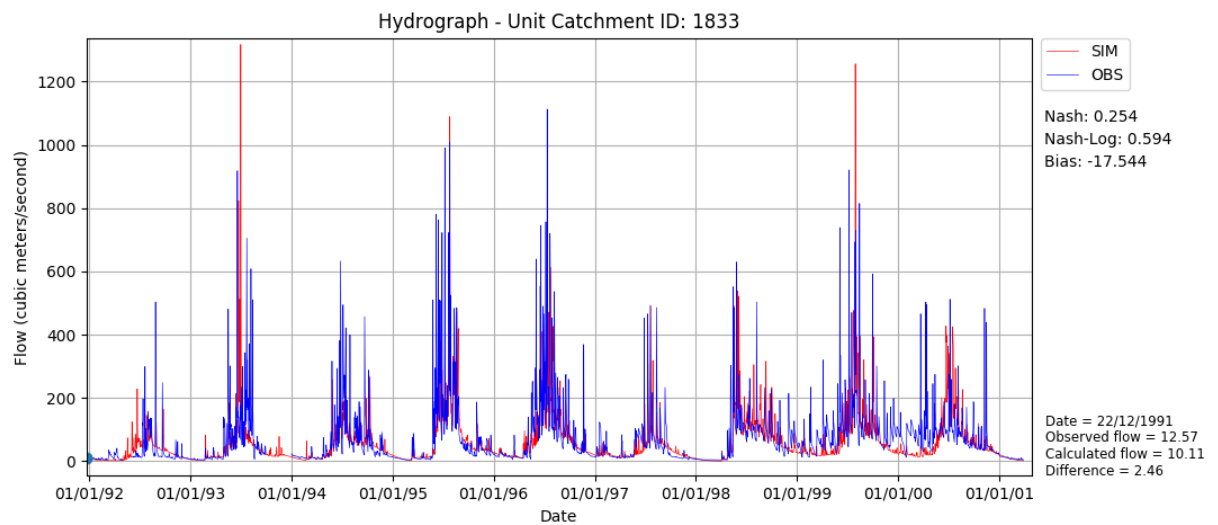
Os maiores valores do E_{NSlog} em relação ao E_{NS} refletem uma melhor representação da modelagem para as vazões de estiagens em comparação aos períodos de cheia, podendo ser também observado tal comportamento nos hidrogramas da Figura 34 para o período de

calibração e a Figura 35 na validação.

Figura 34 – Hidrogramas de vazões diárias simuladas e observadas no período de calibração para as sub-bacias de controle: a – Maloca do Contão; b – Vila Surumu.

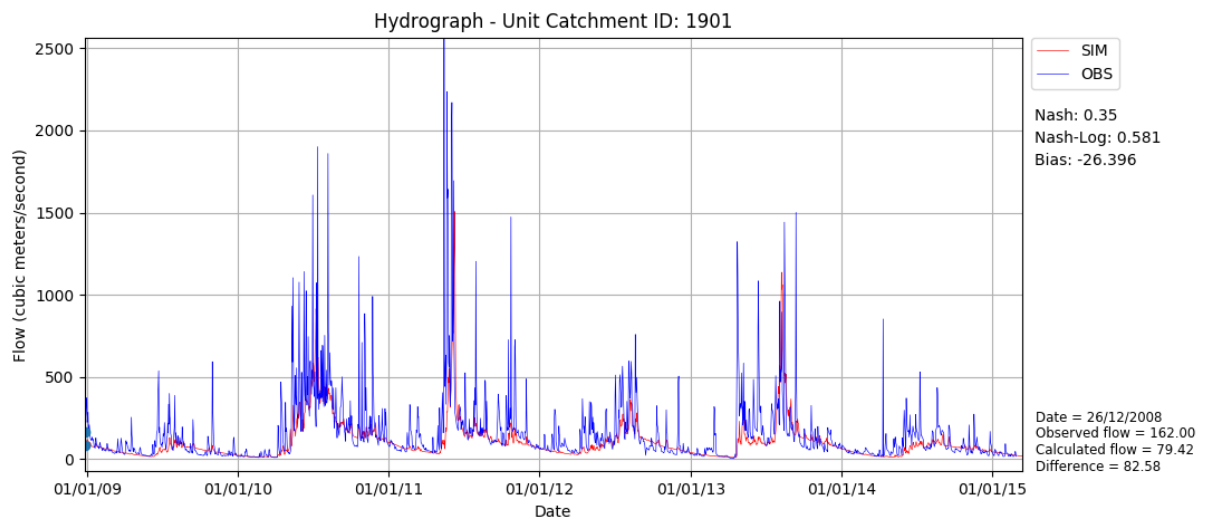


a

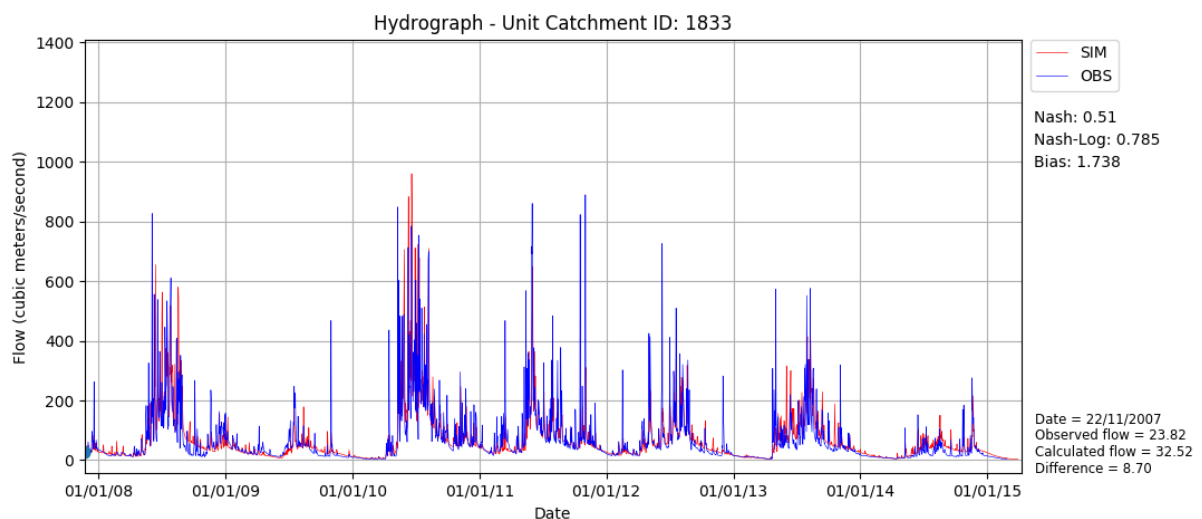


b

Figura 35 – Hidrogramas de vazões diárias simuladas e observadas no período de validação para as sub-bacias de controle: a – Maloca do Contão; b – Vila Surumu.



a



b

Paiva (2009), em modelagem hidrológica na bacia amazônica, relata que parte dos valores baixos encontrados de E_{NS} , E_{NSlog} e no volume total ΔV , deve estar associado aos erros nos dados de precipitação, erros na estimativa da evapotranspiração, seja por falha nos dados meteorológicos utilizados ou por incapacidade do modelo hidrológico em representar todos os processos físicos.

Neste contexto, a baixa densidade de postos na bacia, já caracterizada quando discutido os dados climáticos, pode ter contribuído para valores baixos encontrados de E_{NS} , E_{NSlog} e no volume total ΔV , em especial na calibração.

Os hidrogramas modelados acompanham o comportamento hidrológico da bacia do rio Surumu, com sequenciamento de ciclo seco e chuvosos bem regulares com picos de

vazões concentrados no período de maiores precipitações e períodos de vazões mínimas bem representados.

Os valores dos índices E_{NSlog} e o comportamento das vazões de estiagens nos hidrogramas traduzem uma contribuição importante na definição das vazões de referências usadas para definições quanto ao aproveitamento e/ou controle dos recursos hídrico, como são os casos da Q_{90} (vazão que em 90% do tempo o curso d'água apresentou vazões maiores ou iguais a ela) e Q_{95} (vazão que em 95% do tempo o curso d'água apresentou vazões maiores ou iguais a ela). Na tabela 20 apresenta-se os comparativos do erro sistemático na simulação destas vazões, para validação, sendo o comparativo mais um índice de verificação da eficiência da modelagem.

Tabela 20 – Erros sistemáticos nas vazões simuladas para as sub-bacias Vila Surumu e Maloca do Contão

Sub-Bacia	Erro Sistemático (%)	
	Q_{90}	Q_{95}
VILA SURUMU	6,6	2,6
MALOCA DO CONTÃO	0,0	1,0

6.5 COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

O comportamento hidrológico dos principais afluentes e pontos controles na bacia do rio Surumu, através das vazões de referências Q_{90} e Q_{95} com distribuição mensal ao longo do ano e considerando a série histórica da validação de abril de 2004 até março de 2015, é apresentado no APÊNDICE A e os valores anuais para Q_{90} e Q_{95} , bem como outras vazões de referência estão dispostas nas Tabela 21 e 22, sendo na primeira, o comportamento hidrológico para os afluente do rio Cotingo e seu exutório e na Tabela 22 as informações dos afluentes e secções do rio Surumu.

A caracterização do comportamento hidrológico nos principais afluentes do Rio Cotingo e afluentes diretos do rio Surumu, foram possíveis devido a característica de modelo distribuído do MGB-IPH.

Tabela 21 – Comportamento das vazões ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de referências simuladas para os afluentes da bacia do rio Cotingo

Sub-Bacia	Área (km^2)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{méd}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas			Q _{90(esp)} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)	Q ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$)
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos		
Igarapé do Socó	108,1	5,30	3,45	0,36	0,30	1,82	45,98	0,16	31,01	40,15	51,71	0,00330	1,45
Igarapé Jandaia	65,69	4,20	2,87	0,22	0,15	1,27	38,45	0,07	19,07	25,28	33,14	0,00335	1,67
Rio Carananang	121,81	6,54	4,37	0,39	0,26	2,10	101,14	0,11	45,34	61,71	82,39	0,00320	1,49
Igarapé Grande	216,18	20,12	13,35	1,09	0,83	6,40	256,94	0,38	114,49	153,31	202,36	0,00504	2,56
Rio Caracanã	218,91	10,73	7,28	0,64	0,47	3,49	94,41	0,29	48,85	63,41	81,81	0,00292	1,38
Igarapé Uarainu	242,36	12,02	8,32	0,76	0,52	3,93	140,83	0,26	61,87	83,23	110,21	0,00314	1,40
Rio Tipurema	668,1	49,30	35,36	2,72	1,80	15,77	502,31	0,83	270,79	356,34	464,43	0,00407	2,04
Rio Panari	310,07	11,41	8,63	1,07	0,78	4,30	51,30	0,42	34,91	43,16	53,59	0,00345	1,20
Igarapé Anarém	114,48	5,01	3,53	0,36	0,25	1,74	61,90	0,11	28,46	38,02	50,10	0,00314	1,31
Rio Quino	1.948,03	84,50	61,83	6,59	4,47	29,63	644,83	2,13	323,15	424,24	551,98	0,00338	1,31
Faz. Bandeira Branca (Rio Cotingo)	3.241,9	172,36	123,31	12,68	8,47	58,11	1.346,90	3,83	697,90	920,32	1.201,34	0,00391	1,55
Igarapé Urucuri	375,44	32,84	22,53	1,81	1,39	10,47	451,04	0,70	199,28	267,69	354,13	0,004821	2,41
Maloca do Contão (Rio Cotingo)	5.879,02	351,86	252,85	24,39	16,10	115,59	1.506,38	8,46	962,56	1.242,54	1.596,30	0,004149	1,70
Rio Cotingo (Exutório)	6.357,03	389,67	286,05	27,21	18,27	129,85	1.689,17	9,61	1.090,16	1.403,88	1.800,26	0,004280	1,76

Legenda: Q₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores
Q_{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada
Q₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q_{méd} – vazões médias ao longo da série histórica simulada
Tr – Período de Retorno do evento hidrológico
Q₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q_{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada
Q_{90(esp)} – vazões Q₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.

Tabela 22 – Comportamento das vazões de referências simuladas para os afluentes da bacia do rio Surumu

Sub-Bacia	Área (km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{méd}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas (m ³ .s ⁻¹)			Q _{90(esp)} (m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²)	Q (mm.dia ⁻¹)
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos		
Igarapé Marauaí	945,9	80,70	59,80	4,02	3,07	26,16	515,29	1,49	285,15	372,91	483,80	0,00425	2,39
Igarapé Sorocaima	211,3	24,53	15,89	0,85	0,58	6,93	139,19	0,15	92,73	117,80	149,47	0,004023	2,83
Igarapé Cuacua	430,06	35,17	24,69	1,92	1,44	10,89	164,37	0,56	94,97	123,01	158,44	0,004464	2,19
Rio Miang	1.120,23	118,65	79,74	4,81	2,96	35,37	762,67	1,06	478,17	610,73	778,23	0,004294	2,73
Vila Surumu (Rio Surumu)	2.298,8	260,02	174,66	10,73	6,97	76,03	1.440,08	2,397	928,741	1.182,35	1.502,78	0,004668	2,86
Igarapé Táxi	339,97	26,44	19,76	1,90	1,49	9,57	235,39	0,82	119,24	157,38	205,56	0,005589	2,43
Igarapé Javari	547,23	41,88	31,45	2,53	1,95	14,13	297,40	0,96	147,95	192,72	249,28	0,004623	2,23
Rio Surumu (Exutório)	12.664,14	976,84	720,13	60,58	42,80	313,68	3.440,84	23,44	2.009,35	2.556,72	3.248,31	0,004784	2,14
Legenda: Q ₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.				Q ₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.				Q ₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.					
Q ₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores				Q _{méd} – vazões médias ao longo da série histórica simulada				Q _{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada					
Q _{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada				Tr – Período de Retorno do evento hidrológico				Q _{90(esp)} – vazões Q ₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.					

O comportamento das vazões de referência simuladas no MGB-IPH, com uso na discretização das unidades de resposta hidrológica dos modelados geomorfológicos em bacia de Savana, confirma tendências na produção de água, em especial na visualização das vazões mínimas, visto a tipologia do modelado e o uso e ocupação na bacia de contribuição.

As taxas médias anuais das vazões simuladas variam de 1,2 mm.dia⁻¹ na bacia do rio Panari até 2,86 mm.dia⁻¹ no ponto de controle estação Vila Surumu, sendo de 2,14 mm.dia⁻¹ na totalidade da bacia do rio Surumu, valores estes compatíveis para bacia Amazônica (3,09 mm.dia⁻¹) na estação de Óbidos-AM, em Paiva (2013), frente a comparação na diferença das precipitações médias nas duas bacias.

As vazões específicas médias simuladas para as sub-bacias Vila Surumu de 0,033 m³.s⁻¹.km⁻² e a Maloca do Contão de 0,02 m³.s⁻¹.km⁻², apresentam-se compatíveis aos valores encontrados por Sander (2015); Ribeiro et al. (2017).

Pode-se observar, valores menores de vazões específicas em bacias com área de drenagem em cobertura de floresta e modelado de dissecação, quando comparados com cobertura de savana em mesmo modelado de dissecação, sendo a diferença ampliada caso em modelados de aplanamento e acumulação.

A afirmativa em curso torna-se visível com os valores de $Q_{90(esp)}$ (m³.s⁻¹.km⁻²) para as bacias do rio Panari ($Q_{90(esp)} = 0,00345$), Igarapé Anarém ($Q_{90(esp)} = 0,00314$) e o Igarapé Uarainu ($Q_{90(esp)} = 0,00314$), na região da sub-bacia Maloca do Contão, afluentes do rio Cotingo com sua totalidade das áreas cobertas por floresta em modelado de dissecação, sendo simulado valores de $Q_{90(esp)}$ (m³.s⁻¹.km⁻²) maiores em bacias de savana em dissecação, caso do rio Tipurema ($Q_{90(esp)} = 0,00407$), bem como na savana em aplanamento da bacia do igarapé Grande.

Para os afluentes direto do rio Surumu, observa-se a mesma tendência de valores de $Q_{90(esp)}$ (m³.s⁻¹.km⁻²) menores para bacias de floresta, sendo o caso do igarapé Sorocaima ($Q_{90(esp)} = 0,00402$) e o rio Miang ($Q_{90(esp)} = 0,00429$), com valores menores das vazões específicas quando comparado com a bacia do igarapé Táxi ($Q_{90(esp)} = 0,00559$), em áreas de modelados de dissecação e acumulação com cobertura de savana.

A redução das vazões mínimas em ambientes de floresta foi também verificada em modelagem realizada por Bayer (2014), quando do comparativo do aumento do desmatamento e assim alterando o uso e ocupação do solo de floresta com outro tipo de cobertura vegetal. Bayer; Collischonn (2013); Bayer (2014) associam a redução das vazões mínimas, em florestas, aos aspectos dos componentes de interceptação da precipitação e

balanço de evaporação.

Na análise das vazões de referências Q_{90} com distribuição mensal (APÊNDICE A), são observados períodos de menores vazões no trimestre fevereiro-março-abril, com defasagem de um mês, quando comparado com a trimestre menos chuvoso de janeiro-fevereiro-março. Ainda, uma relação de contribuição de 38 a 53% das Q_{90} mensais do rio Cotingo em relação as Q_{90} observadas no exutório do rio Surumu.

Os afluentes de contribuição direta no rio Surumu apresentam maiores valores para vazões mínimas de referência, quando comparados aos afluentes do rio Cotingo. Com área de drenagem de 6.357,03 km² o rio Cotingo contribui com uma Q_{90} de 27,21 m³.s⁻¹ e $Q_{90(esp)}$ de 0,00428 m³.s⁻¹.km⁻², enquanto na área de drenagem de 3.313,63 km² do médio-alto rio Surumu, na confluência com o rio Cotingo, tem-se uma Q_{90} de 18,29 m³.s⁻¹ e $Q_{90(esp)}$ de 0,00552 m³.s⁻¹.km⁻².

A superioridade simulada da região do médio-alto Surumu na manutenção das vazões mínimas configura-se na observação de maior área de abrangência de URHs de savana em modelado de dissecação, de aplanamento e acumulação, em comparação com URHs de floresta em modelado de dissecação, além da melhor distribuição e maiores valores da precipitação anual média em comparação a outras regiões da bacia.

Bacias com URHs de savanas nos três modelados mapeados no estudo apresentam maiores potenciais de manutenção das vazões mínimo quando comparados com as florestas em dissecação. Destaque para as bacias do Rio Miang e a do igarapé Marauaí, com $Q_{90(esp)}$ semelhantes, sendo que a bacia do Rio Miang localiza-se na região de maior influência de precipitação mas em maior área de URHs com ocupação de floresta em dissecação, enquanto a bacia do igarapé Marauaí com predomínio de áreas de URHs de savana em dissecação tem menores precipitações médias anuais.

É observado a influência positiva nas vazões mínimas em bacias com áreas de drenagem em modelado de aplanamento com ambiente savânico, visto as vazões $Q_{90(esp)}$ das bacias do igarapé Urucuri (0,00482 m³.s⁻¹.km⁻²), igarapé Grande (0,00504 m³.s⁻¹.km⁻²), igarapé Javari (0,004623 m³.s⁻¹.km⁻²) e igarapé Caucau (0,004464 m³.s⁻¹.km⁻²) com áreas prioritariamente de URHs de savana em aplanamento e mesmo localizadas em região de precipitação média ano de 1.616,9 mm e concentração no período chuvoso relatado por Evangelista; Sander; Wankler, 2008; Sander, 2015.

O comportamento hidrológico observado nas bacias com uso da discretização das URHs com aspectos dos modelados geomorfológicos é reflexo do controle destes na

distribuição dos solos amazônicos descritos por Schefer et al., 2000; Lima, 2001; Melo; Schaefer; Uchôa, 2010; Benedetti et al., 2011, sendo no aplanamento geralmente associados aos Latossolos e Argissolos, estes com baixo e médio potencial de geração de escoamento e alto potencial de armazenamento de água, enquanto nos modelados de acumulação em planície aluvial (várzea) dos rios, predominam-se Gleissolos e Neossolos Flúvicos como maior capacidade de geração de escoamento e menor potencial de armazenamento, assemelhando-se ao comportamento nas URHs propostas por PAIVA, (2009); FAN; COLLISCHONN, (2015).

A validação dos resultados simulados na pesquisa com discretização em URHs composta de característica da forma de modelado e uso de ocupação da terra possibilitou maior aproximação dos parâmetros do modelo aos conceitos e características físicas que eles representam, visto a interação das URHs ao ambiente e conceito de paisagem, pois as savanas e florestas apresentam-se com classificação distintas dependendo do ambiente geomorfológica onde são encontradas (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

O modelo MGB-IPH respondeu as melhorias na definição dos valores dos parâmetros fixos na calibração ligados ao uso e ocupação da terra, frente ao olhar no ambiente geomorfológico encontrado e descrições de fisionômica da vegetação, influenciada pela geomorfologia e o clima no controle da paisagem. Pode-se afirmar que amplia a descrição de uso e ocupação da terra nas URHs, passando a atuar no controle de paisagem, e assim, maior aderência aos processos físicos da bacia hidrográfica.

A simulação do comportamento hidrológico com a ampliação do uso e ocupação da terra pela agricultura em modelados de aplanamento e acumulação mesmo observado em mapeamento a predominância do cultivo em modelado de acumulação, deu-se por entender o modelado de aplanamento como áreas potenciais para uso e ocupação agrícola.

Os resultados dos percentuais de alteração das vazões de referência são apresentados nas Tabelas 23 e 24 para as bacias dos afluentes do rio Cotingo e os afluentes diretos do rio Surumu, bem como os pontos de controle usados para definições de sub-bacias do Surumu, em percentuais de 20% de substituição da savana por uso agrícola (cenário C20), enquanto nas Tabelas 25 e 26 tem-se os resultados da simulação para 50% de substituição da vegetação savânicas (cenário C50).

Os valores dispostos nas Tabelas 23, 24, 25 e 26 configuram a variação das vazões de referência em comparativo aos valores simulados com o uso e ocupação atualmente mapeado. Assim, valores percentuais positivos, significa que houve um acréscimo na vazão simulada

com a alteração do uso, redução da savana e ampliação do uso agrícola, em relação ao atual, e quando os valores são negativos tem-se caracterizado perdas do componente hidrológico.

Tabela 23 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 20% (C20) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes do rio Cotingo

Sub-Bacia	Área (km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{méd}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas			Q _{90(esp)}
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos	
Igarapé do Socó	108,1	-1.09	-0.67	2.50	3.33	0.60	3.68	2.50	1.55	1.90	2.15	2.50
Igarapé Jandaia	65,69	-0.05	-0.14	-1.36	-2.00	-0.24	0.07	4.29	0.04	0.07	0.06	-1.36
Rio Carananang	121,81	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	-0.91	0.01	0.00	0.00	0.00
Igarapé Grande	216,18	-2.41	-1.15	3.49	2.77	0.33	1.23	4.21	2.88	2.79	2.73	3.49
Rio Caracanã	218,91	0.04	0.04	0.47	-0.64	0.00	0.00	-1.72	0.01	0.00	0.00	0.47
Igarapé Uarainu	242,36	-0.05	-0.01	-0.53	-0.19	0.00	0.02	-0.38	0.00	0.01	0.02	-0.53
Rio Tipurema	668,1	-0.12	0.09	0.51	0.78	0.08	0.21	1.20	0.40	0.42	0.43	0.51
Rio Panari	310,07	-0.03	0.01	0.28	-0.13	0.05	0.01	-1.19	-0.01	0.00	0.00	0.28
Igarapé Anarém	114,48	0.02	0.03	1.39	0.40	-0.17	0.32	1.82	0.20	0.23	0.26	1.39
Rio Quino	1.948,03	-0.01	0.01	0.09	-0.02	0.02	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.09
Faz. Bandeira Branca (Rio Cotingo)	3.241,9	-0.04	0.02	0.32	0.27	0.03	0.21	0.37	0.19	0.21	0.21	0.32
Igarapé Urucuri	375,44	-0.79	0.19	-2.65	-4.53	0.47	2.29	-7.43	3.22	3.22	3.22	-2.65
Maloca do Contão (Rio Cotingo)	5.879,02	-0.18	0.20	0.67	1.15	0.17	0.06	1.71	0.43	0.44	0.45	0.67
Rio Cotingo (Exutório)	6.357,03	0.16	-0.25	1.22	0.96	0.28	1.42	2.28	1.11	1.13	1.15	1.22

Legenda: Q₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores
 Q_{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada
 Q₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{méd} – vazões médias ao longo da série histórica simulada
 Tr – Período de Retorno do evento hidrológico
 Q₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada
 Q_{90(esp)} – vazões Q₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.

Tabela 24 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 20% (C20) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes diretos do rio Surumu

Sub-Bacia	Área (km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{méd}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas			Q _{90(esp)}
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos	
Igarapé Marauaí	945,9	-0.74	-0.48	1.64	1.21	0.04	0.79	2.68	1.55	1.65	1.72	1.64
Igarapé Sorocaima	211,3	0.01	-0.02	0.47	0.52	0.06	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	0.47
Igarapé Cuacua	430,06	-0.76	-1.23	2.19	2.99	0.00	7.90	4.64	4.93	5.65	6.19	2.19
Rio Miang	1.120,23	-0.14	-0.13	1.37	1.99	0.30	0.95	2.83	0.86	0.88	0.90	1.37
Vila Surumu (Rio Surumu)	2.298,8	0.26	-0.07	1.57	1.81	0.29	0.77	2.84	0.68	0.68	0.69	1.57
Igarapé Táxi	339,97	0.57	0.57	-2.37	-1.54	-0.31	2.24	0.61	4.05	3.86	3.73	-2.37
Igarapé Javari	547,23	-1.58	-0.59	3.72	3.90	0.55	3.34	5.10	3.33	3.72	4.02	3.72
Rio Surumu (Exutório)	12.664,14	0.67	0.61	1.09	1.32	0.18	1.71	1.81	1.16	1.27	1.35	1.09

Legenda: Q₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores
 Q_{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada
 Q₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{méd} – vazões médias ao longo da série histórica simulada
 Tr – Período de Retorno do evento hidrológico
 Q₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada
 Q_{90(esp)} – vazões Q₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.

Tabela 25 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 50% (C50) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes do rio Cotingo

Sub-Bacia	Área (km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{med}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas			Q _{90(esp)}
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos	
Igarapé do Socó	108,1	-3.15	-1.30	6.67	7.67	0.93	8.73	6.88	3.57	4.47	5.13	6.67
Igarapé Jandaia	65,69	0.05	-0.10	-1.36	-2.00	-0.08	0.27	5.71	0.22	0.27	0.27	-1.36
Rio Carananang	121,81	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	-0.91	0.01	0.00	0.00	0.00
Igarapé Grande	216,18	-4.92	-3.06	9.72	8.67	1.58	4.22	12.37	9.27	8.92	8.66	9.72
Rio Caracanã	218,91	0.04	0.04	0.47	-0.64	0.00	0.00	-1.72	0.01	0.00	0.00	0.47
Igarapé Uarainu	242,36	-0.13	-0.05	-0.53	-0.19	-0.03	0.06	-0.38	0.01	0.02	0.04	-0.53
Rio Tipurema	668,1	-0.28	0.22	1.80	2.00	0.23	0.57	2.53	1.03	1.09	1.14	1.80
Rio Panari	310,07	-0.03	0.01	0.28	-0.13	0.05	0.01	-1.19	-0.01	0.00	0.00	0.28
Igarapé Anarém	114,48	-0.16	0.06	1.67	0.80	-0.11	0.80	1.82	0.50	0.59	0.66	1.67
Rio Quino	1.948,03	-0.03	0.02	0.12	0.00	0.02	0.14	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12
Faz. Bandeira Branca (Rio Cotingo)	3.241,9	-0.13	0.02	0.70	0.65	0.05	0.49	0.84	0.45	0.48	0.51	0.70
Igarapé Urucuri	375,44	-3.05	-0.37	2.15	0.07	1.13	5.53	-0.86	7.86	7.91	7.94	2.15
Maloca do Contão (Rio Cotingo)	5.879,02	-0.45	0.08	2.12	2.04	0.36	0.11	4.09	1.03	1.06	1.08	2.12
Rio Cotingo (Exutório)	6.357,03	0.12	-0.25	3.04	3.22	0.52	3.25	5.35	2.62	2.67	2.71	3.04

Legenda: Q₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores
Q_{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada
Q₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q_{med} – vazões médias ao longo da série histórica simulada
Tr – Período de Retorno do evento hidrológico
Q₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
Q_{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada
Q_{90(esp)} – vazões Q₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.

Tabela 26 – Variação (%) das vazões de referência simuladas para substituição de 50% (C50) da vegetação de savana pelo uso e ocupação agrícola nas bacias dos afluentes diretos do rio Surumu

Sub-Bacia	Área (km ²)	Q ₅	Q ₁₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{méd}	Q _{max}	Q _{min}	Vazões Máximas			Q _{90(esp)}
									Tr = 5 anos	Tr = 10 anos	Tr = 25 anos	
Igarapé Marauaí	945,9	-1.69	-1.26	3.91	3.32	0.31	2.77	6.58	4.45	4.76	4.98	3.91
Igarapé Sorocaima	211,3	0.01	-0.02	0.47	0.52	0.06	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	0.47
Igarapé Cuacua	430,06	-2.57	-2.30	5.63	6.25	-0.12	19.57	10.71	12.68	14.50	15.88	5.63
Rio Miang	1.120,23	-0.39	0.01	3.87	4.90	0.77	2.35	7.55	2.14	2.20	2.24	3.87
Vila Surumu (Rio Surumu)	2.298,8	0.40	0.08	4.14	4.49	0.86	2.07	7.34	1.82	1.84	1.86	4.14
Igarapé Táxi	339,97	2.80	2.36	-5.95	-3.76	-0.69	5.71	1.46	10.31	9.86	9.54	-5.95
Igarapé Javari	547,23	-3.89	-1.62	9.01	9.54	1.21	8.87	12.19	8.64	9.70	10.49	9.01
Rio Surumu (Exutório)	12.664,14	1.03	0.35	2.78	2.08	0.43	5.02	4.47	3.24	3.56	3.81	2.78

Legenda: Q₅ – vazões que em 5% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q₉₅ – vazões que em 95% do tempo são observados valores iguais ou superiores
 Q_{min} – vazões mínimas ao longo da série histórica simulada
 Q₁₀ – vazões que em 10% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{méd} – vazões médias ao longo da série histórica simulada
 Tr – Período de Retorno do evento hidrológico
 Q₉₀ – vazões que em 90% do tempo são observados valores iguais ou superiores.
 Q_{max} – vazões máximas ao longo da série histórica simulada
 Q_{90(esp)} – vazões Q₉₀ específica, considerando a área de produção desta vazão.

Os dois cenários (Tabela 11 e Figura 30) tratados para a mudança no uso e ocupação da terra e a avaliação do impacto da alteração da cobertura vegetal no regime hidrológicos dos cursos d'água na bacias em estudo, traz um incremento de 3,9% e 9,7% na área de uso agrícola em substituição da savana, nos cenários C20 e C50, respectivamente, em modelado de acumulação e de 1,4% e 3,5% de aumento de uso agrícola em modelado de aplanamento.

Os resultados das simulações mostraram a sensibilidade do modelo MGB-IPH em responder as variações na mudança da cobertura vegetal bem como a aderência de seus parâmetros às características físicas das unidades de resposta hidrológica aqui discretizadas em metodologia com uso dos modelados geomorfológicos.

A resposta na maioria das bacias da área de drenagem do rio Surumu, com aumentos das vazões mínimas Q_{90} , Q_{95} , das vazões médias e máximas, diante da substituição da savana pelo uso agrícola, encontra aderência aos resultados na literatura em trabalhos desenvolvidos em bacias experimentais por Bosch; Hewlett (1982); Trimble; Weirich; Hoag (1987) e com uso de modelos hidrológicos por Rodriguez (2011); Bayer; Collischonn (2013); Bayer (2014).

Fatores como mudanças no índice de área foliar, na profundidade das raízes, na altura média da vegetação, entre outros, interferem principalmente no processo de evapotranspiração, provoca um aumento da vazão média com o desmatamento e o reflorestamento uma diminuição (BAYER, 2014).

A substituição da vegetação de savana por uso agrícola, apresenta-se com a mesma tendência de ampliação das vazões de referência, considerando a mudança dos percentuais de áreas com atuação dos parâmetros fixos e característicos da vegetação, para cada tipologia de paisagem adotada nas URHs (Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16), usados na calibrações e validade das vazões simuladas, pois interferem no processo de evapotranspiração e assim no balanço hídrico da bacia.

Frente aos cenários de mudança do uso e cobertura da terra no modelado de aplanamento, a substituição é prioritariamente de vegetação com fitofisionomia de savana estépica descrito por Barbosa; Miranda (2005). Neste contexto, têm-se os parâmetros caraterísticos de vegetação com valores intermediários entre floresta e agricultura, e distintos no período úmido e no seco (Tabela 12), que impactam o regime hidrológico de forma similar a substituição da floresta por áreas agrícolas, guardando às proporcionalidades.

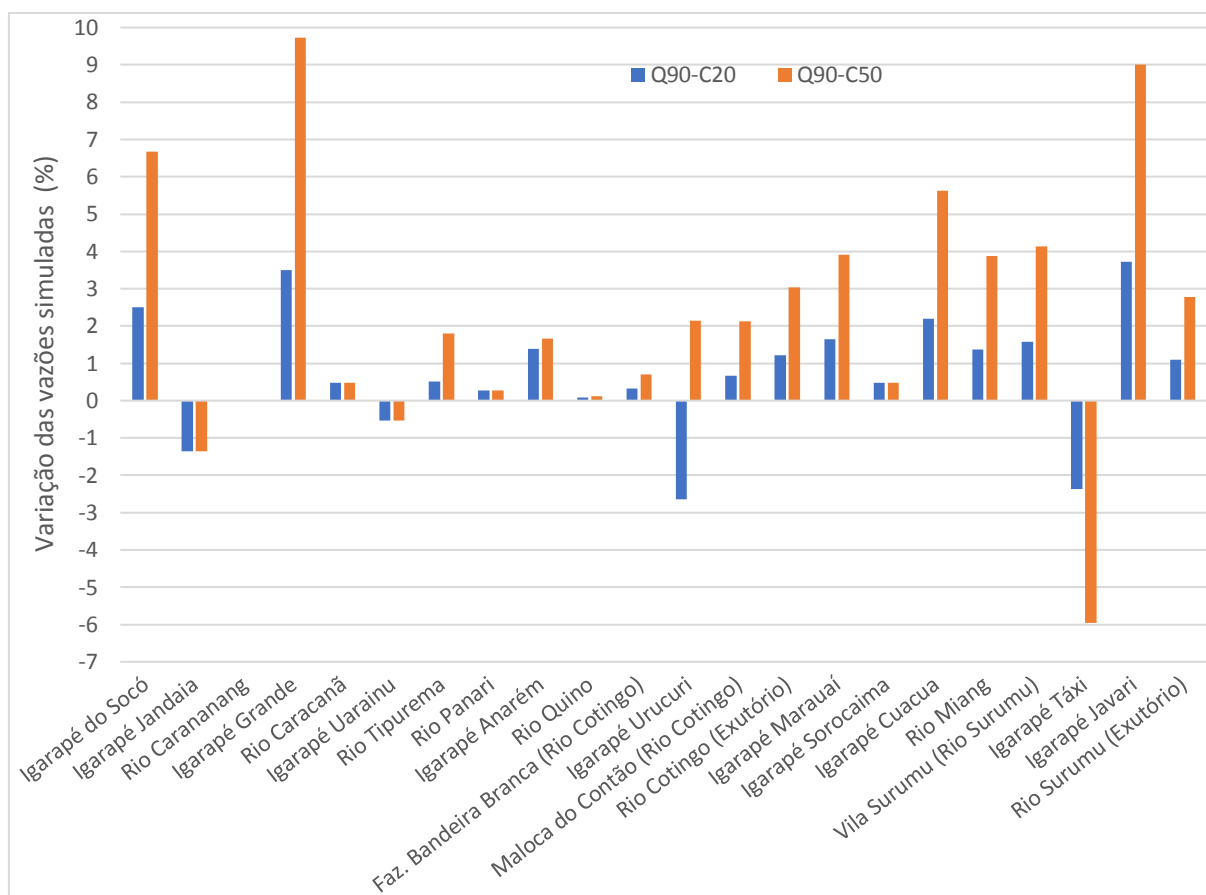
Com a simulação da substituição de savana por uso agrícola em aplanamento, observa-se, pela tabela 12, o aumento do albedo (α) no período chuvoso de 0,14 para 0,2 e no

seco de 0,19 para 0,35, da resistência superficial (rs) no período seco de 140 para 200, confirmando os valores encontrados de ampliação das vazões com o aumento destes parâmetros em análise de sensibilidade do modelo MGB-IPH por Bayer; Collischonn (2013), apresentados na Figura 13.

Na sequência, ainda em aplanamento, observa-se que o parâmetro índice de área folhear (IAF) no período chuvoso será aumentado de 2,3 para 3,0 e diminuído de 1,15 para 0,5 e no período seco, que traduz, quando avaliado de forma isolada, redução de vazões no período chuvoso e aumento do período seco. O parâmetro altura (h) da vegetação, que é inversamente proporcional a vazão, não produz mudanças significativas, visto a variação de 1,0 da savana para 0,5 metros do uso agrícola, sempre com referência dos parâmetros na tabela 12.

No modelado de acumulação, considerando áreas úmidas e manejo de produção no período seco e chuvoso, o aumento do parâmetro albedo (α) será menor quando comparado em aplanamento, de 0,13 para 0,2 no período chuvoso e de 0,18 para 0,2 no período seco. Isso atenua o efeito de influenciar as vazões, enquanto a resistência superficial (rs) será reduzida de 140 para 100 no período chuvoso e 180 para 100 no período seco, influenciando para uma redução no valor da vazão, em aderência ao comportamento descrito por Bayer; Collischonn (2013); Bayer (2014). O parâmetro índice de área folhear (IAF) no período chuvoso será aumentado de 1,0 para 3,0 no período chuvoso e de 0,5 para 3,0 no seco, também contribuindo para redução das vazões.

Na Figura 36 é verificada a variação do percentual da vazão de referência Q_{90} (vazão de permanência em noventa por cento do tempo), frente aos cenários C20 (percentuais de 20% de substituição da savana por uso agrícola) e C50 (percentuais de 50% de substituição da savana por uso agrícola) nas bacias dos principais cursos d'água e pontos de interesse já descritos. A análise do gráfico na Figura 36, dados compilados das tabelas 23, 24, 25 e 26, mostram a tendência de ampliação das vazões simuladas na maioria das bacias, com exceções as bacias do igarapé Jandaia, igarapé Uarainu, Igarapé Urucuri e do igarapé Táxi, além do rio Carananang com praticamente nenhuma alteração nas vazões.

Figura 36 – Variação (%) das vazões de referência simuladas Q₉₀ para cenários C20 e C50

A diversidade dos valores percentuais de alterações das vazões, devem-se ao fato da não linearidade dos valores das áreas substituídas, pois foram usados percentuais de 20% e 50% de substituição da vegetação de savana por uso agrícola nas URHs, assim o valor real do percentual de substituição dependem da área de abrangência de URHs substituídas em cada sub-bacia simulada. Em vários trabalhos na literatura com simulação de mudança no uso da terra, geralmente são observados percentuais uniformes de alterações nas vazões das bacias estudados, em resposta a uniformidade da área de substituição do uso e ocupação da terra.

Neste contexto, as maiores variações positivas na ampliação das vazões estão em bacias com maiores áreas da URHs savana em aplanamento (Figura 29), no caso do igarapé Socó (2,5%-C20; 6,67%-C50), igarapé Grande (3,5%-C20; 9,7%-C50), igarapé Marauai (1,64%-C20; 3,9%-C50), igarapé Cuacua (2,2%-C20; 5,6%-C50), rio Miang (1,4%-C20; 3,9%-C50), sub-bacia Vila Surumu (1,6%-C20; 4,1%-C50) e Igarapé Javari (3,7%-C20; 9,0%-C50).

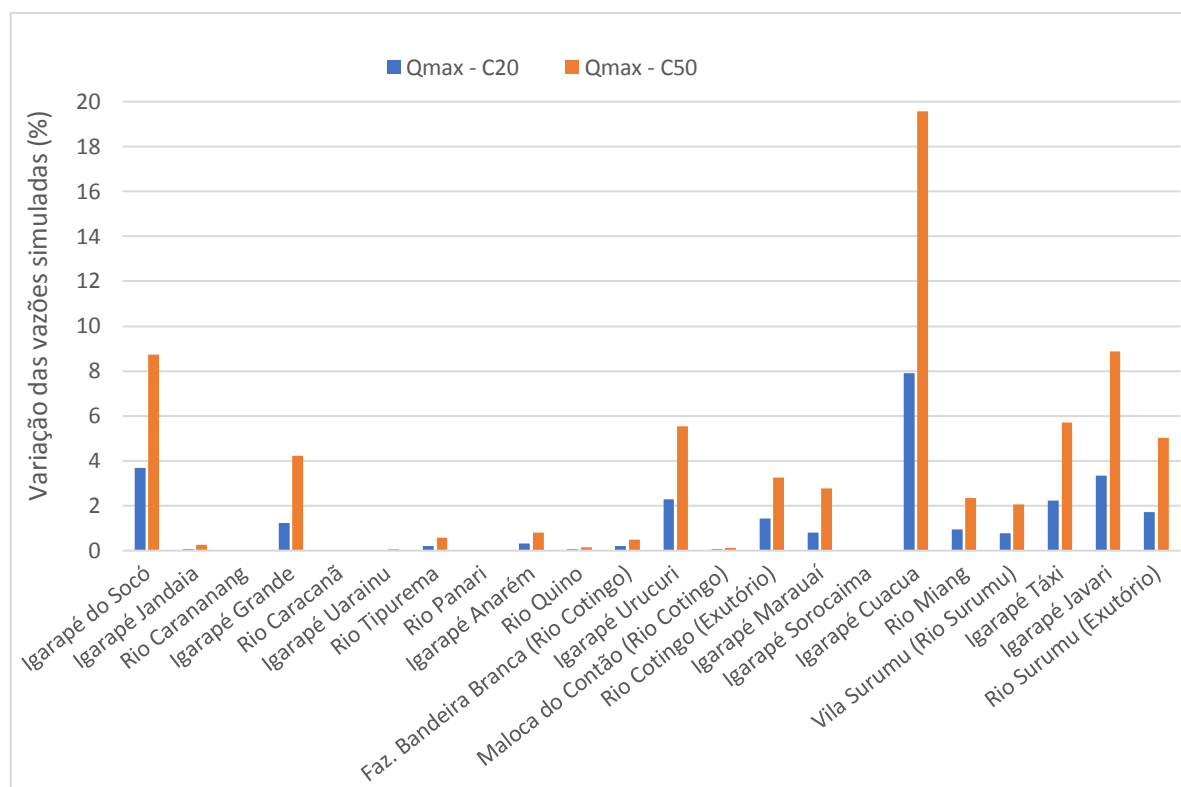
O igarapé Jandaia, igarapé Uarainu e o igarapé Táxi são cursos d'água com áreas de contribuições sob influência de URHs savana em modelado de acumulação, em especial o

igarapé Táxi, onde verifica-se a maior variação de redução na vazão mínima entre as outras duas também que apresentaram reduções. Estes resultados confirmam que a substituição de vegetação de savana em modelado de acumulação por uso agrícola, com manejo de produção nas várzeas e calendário agrícola nas duas estações (chuvosa e seca), tem-se uma tendência de redução nas vazões mínimas.

As vazões médias simuladas nos dois cenários não apresentaram variações significativa, visto os valores de 1,58, 1,13 e 1,21%, para as bacias do igarapé Grande, igarapé Uricuri e o igarapé Javari, respectivamente, para o cenário C50.

Para as vazões máximas, mostradas na Figura 37, são observadas tendências de ampliação dos valores com os cenários de substituição da savana por uso agrícola, como previsto e citado na literatura. Destaque para as bacias do igarapé Socó com ampliação 3,7% (C20) e 7,7% (C50), igarapé Grande de 1,2% (C20) e 4,2% (C50), igarapé Uricuri de 2,3% (C20) e 5,5% (C50), igarapé Cuacua de 7,9% (C20) e 19,6% (C50), igarapé Táxi de 2,2% (C20) e 5,7% (C50) e Igarapé Javari de 3,4% (C20) e 8,9% (C50).

A variação nos picos das vazões, apresentam amplitudes maiores quando comparados com os ganhos das vazões mínimas, reforçando os problemas relacionados com eventos de cheias, em especial nas áreas de planícies, como a bacia do igarapé Cuacua que apresenta um incremento simulado de 19% de aumento das máximas.

Figura 37 – Variação (%) das vazões de referência simuladas Q_{máx} para cenários C20 e C50

Os resultados na bacia do igarapé Cuacua, quando devidamente associado as URHs, apresentam a influência dos lagos da savana no componente hidrológico de maior amplitude nas vazões mínimas e máximas. Estes lagos, caracterizados por Meneses; Da Costa; Costa (2007); Carvalho; Carvalho (2012); Meneses; Da Costa (2012); Morais; Carvalho (2015), são em sua maioria, produtos de flutuação de lençol freático e não da dinâmica fluvial, visto a mineralogia ser de base local.

Neste contexto, os valores das vazões simuladas na bacia do igarapé Cuacua alinham-se aos lagos que atuam como reguladores das vazões mínimas, manutenção da umidade de água no solo e ampliação de áreas saturadas, gerando mais vazões de pico pela influência da propagação do escoamento subsuperficial.

Quando associado ao período de retorno de 5, 10 e 25 anos, as vazões máximas simuladas apresentam variações relativamente constantes, mantendo a proporcionalidade de crescimento destas vazões nas suas respectivas bacias, em detrimento dos maiores períodos de retorno.

Os impactos nas vazões Q₉₀ das sub-bacias discretizadas e usadas como pontos de controle, inclusive na base de calibração e validade, são observados incrementos de 1,57% (C20) e 4,14% (C50) na Vila Surumu (Sub-bacia 02), de 0,67% (C20) e 2,12% (C50) na

Maloca do Contão (Sub-bacia 03), de 0,32% (C20) e 0,7% (C50) na Fazenda Bandeira Branca (Sub-bacia 01), de 1,22% (C20) e 3,04% (C50) no exutório do rio Cotingo e 1,09% (C20) e 2,78 (C50) no exutório da bacia do rio Surumu.

Os cenários apresentados não levam em consideração acréscimos ou redução dos recursos hídricos setoriais demandados, sendo foco a discussão do comportamento natural das vazões frente à mudanças no uso e ocupação da terra em vegetação de savana.

As vazões máximas também apresentam variações de ampliação com 0,77% (C20) e 2,07% (C50) na Vila Surumu (Sub-bacia 02), de 0,06% (C20) e 0,11% (C50) na Maloca do Contão (Sub-bacia 03), de 0,37% (C20) e 0,49% (C50) na Fazenda Bandeira Branca (Sub-bacia 01), de 1,42% (C20) e 3,25% (C50) no exutório do rio Cotingo e 1,71% (C20) e 5,02% (C50) no exutório da bacia do rio Surumu.

Para a totalidade da bacia do rio Surumu, os cenários C20 e C50, correspondem aos incrementos respetivos de uso agrícola 3,9 e 9,7% no modelado de aplanamento e 1,4 e 3,5% no modelado de acumulação. Estes percentuais refletem o comportamento hidrológico da bacia para incrementos aproximados de áreas com uso agrícola de 493 e 1.228 km² em modelado de aplanamento, 177 e 443 km² em modelado de acumulação, para os cenários C20 e C50, respectivamente.

A variabilidade nos valores simulados nas diversas bacias é reflexo da distribuição das áreas de ocupação e abrangência das URHs substituídas. Assim, bacias com maiores variações nas vazões estão associadas às áreas maiores de substituição com URHs capazes de promover tais alterações, cumprindo o papel de parâmetros de base física no modelo e mostrando a viabilidade da metodologia de UHRs apresentada neste estudo.

7 CONCLUSÕES

O uso dos tipos de modelados dos fatos geomorfológicos nas definições das URHs tornou mais eficiente a modelagem no ajuste da caracterização dos parâmetros de vegetação, e assim, melhor aderência a base física/conceitual, quando da possibilidade de associação as definições de paisagens na geomorfologia e estudos da fitofisionomia da vegetação compartimentadas, com o MGB-IPH respondendo a estas definições.

A aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH permitiu o entendimento da dinâmica hidrológica da bacia do Rio Surumu e seus principais afluentes de maneira satisfatório, frente à aderência dos valores das vazões de referência simuladas aos valores encontrados na literatura.

A importância e influência dos parâmetros de vegetação na modelagem hidrológica traz a necessidade de implementar ao MGB-IPH condições para variação dos parâmetros albedo, índice de área foliar, resistência superficial e altura média da vegetação, considerando a sub-bacia calibrada, inclusive atuando fortemente nos cenários de mudanças de uso e ocupação da terra, como observado nesta pesquisa,

A variação dos parâmetros de vegetação, atualmente dito fixos, flexibiliza o uso do MGB-IPH para modelagem hidrológica com conceito e formas de paisagem tratados neste estudo.

Os resultados simulados apontam o potencial de produção de água da savana amazônica, respondendo bem as características pluviométricas e a diferença de vegetação atípica do encontrado nas maiores porções das áreas da bacia Amazônica.

A simulação de vazões para cenários de mudança do uso e ocupação da terra, com a expansão de 20% e 50% do uso agrícola sob vegetação de savana em modelados de aplanamento e de acumulação, mostram acréscimos relativamente pequenos nas vazões mínimas e máximas na maioria das bacias discretizadas, sendo as áreas em modelados de aplanamento destaques nestes acréscimos.

A substituição de vegetação de savana em modelado de acumulação, diferente do que ocorre no aplanamento, produz fator de redução das vazões mínimas, também pouco significativa, e quanto as vazões máximas, um crescimento. As variações nas vazões médias são ainda menos significativas nos dois tipos de modelados.

As respostas do comportamento hidrológico na bacia do Igarapé Cuacua, com boa área de abrangência de URH água, representando os lagos da savana, permitiram confirmar a

interação destes lagos na manutenção das vazões mínimas e amplitudes de vazões máximas pelo aumento de áreas saturadas e maiores respostas dos componentes subsuperficiais.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. Zoneamento fisiográfico e ecológico do espaço total da Amazônia Brasileira. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, pp15-24. 2010
- ADAM, K.N.; FAN, F.M.; PONTES, P.R.M.; COLLISCHONN, W. Mudanças climáticas e vazões extremas na bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 999-1007. 2015.
- ALMEIDA, C. T. D.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279-286. 2015.
- ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R., BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. v. 17, n.1, p. 69-76. 2013.
- ARAUJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p. 129 – 134. 2005
- BARBERENA, D. S.; MEDEIROS, R. D.; BARBOSA, G. F. Desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de fósforo e potássio, em várzea de primeiro ano, no estado de Roraima. **Ciência e Agrotecnologia [online]**, v. 35, n.3, pp.462-470, 2011.
- BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLON, E.G. (Ed). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, p.267-293. 1997.
- BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I. S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: BARBOSA R. I.; XAUD H. A. M; COSTA, S. J. M. (Orgs) **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**, FEMACT, Boa Vista, p.61-77, 2005.
- BARROS, L. S.; VALE JUNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G.; JUNIOR, M. M. Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* wild e savana em Roraima, norte da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.2, p. 447-454. 2009.
- BAYER, M. COLLISCHONN, W. Análise de Sensibilidade do Modelo MGB-IPH a Mudanças de uso da Terra. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.18, n.3, p.165-179, 2013.

- BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala.** 156 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2014.
- BEIGHLEY, R. E.; EGGERT, K. G.; DUNNE, T.; HE, Y.; GUMMADI, V.; VERDIN, K. L. Simulating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River Basin. **Hydrological Processes.** v.23, p.1221–1235, 2009.
- BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online].** v.35, n.2, p. 299-312. 2011.
- BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia do estado de Roraima por imagens de sensores remotos. In: (Org.) MENESES, M. E. N. da S.; COSTA, M. da L.; SILVA, P. R. de F.; OLIVEIRA, R. da S. **Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado.** Boa Vista: Ed. UFRR. p.168-192. 2008.
- BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiment to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology,** v.55, p.3–23, 1982.
- BOURGOIN, L.M.; BONNET, M. P.; MARTINEZ, J. M.; KOSUTH, P.; COCHONNEAU, G.; MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, P. Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon River. Brazil. **Journal of Hydrology.** v.335, p.140–156, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Síntese Executiva. Brasília: MMA, 2006. 134 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.** Brasília: MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2011. 344 p.
- CARDOSO, C.A; DIAS, H.C.T; SOARES, C.P.B; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. **Revista Árvore.** v. 30, n. 02, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil – suggestions for future studies. **E&G Quaternary Science Journal.** v.61, n.2, p.146–158, 2012.
- CHANG, M. **Forest hydrology: an introduction to water and forests.** 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006.

- COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 270 p. Ph.D. thesis, Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2001.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; DA SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling, **Hydrological Sciencis Journal**, v.52, p.878–895, 2007.
- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, v.360, p.207–216, 2008.
- CONAB (Companhia Brasileira de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 4 Safra 2016/17 - Décimo segundo levantamento. Brasília, Brasil. 2017.
- CORDEIRO, A. C. C.; SUHRE, E.; MEDEIROS, R. D.; VILARINHO, A. A. Sistemas de cultivo e manejo de água na produção de diferentes genótipos no arroz em várzea, no estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p.362-369, 2010.
- CPRM. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil - **Roraima Central**. Folha NA. 20-X/NA. 21-V, Roraima. 1999.
- DECHARME, B.; ALKAMA, R.; PAPA, F.; FAROUX, S.; DOUVILLE, H.; PRIGENT, C. Global off-line evaluation of the ISBA-TRIP flood model. **Climate Dynamics**. v.38, p.1389–1412, 2011.
- DE SOUZA, E.B. et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p. 111-124, 2009.
- EVANGELISTA, R. O.; SANDER, C.; WANKLER, F.L. **Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima**. In: SILVA, P.R.F.; OLIVEIRA, R.S. (Org.). Roraima 20 anos: As geografias de um novo estado. Boa Vista: Editora da UFRR, p. 142-167. 2008.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. **Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.
- FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.. **Um Mapa de Unidades de Reposta Hidrológica para a América do Sul**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2015.

- FARLEY, K. A.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v.11, n.10, p.1565-1576, 2005.
- FEARNSIDE, P. M. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil Hydroelectric Development of the Xingu River Basin. **Environmental Management**, v.38, n.1, 12 p., 2006.
- FRANZINELLI, E.. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v.41, n.4, p. 587-596. 2011.
- FUNCATE. **Uso e cobertura da terra na Floresta Amazônica: Subprojeto 106/2004 PROBIO** (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira). Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério de Meio Ambiente, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Fundo para o Meio Ambiente Global e Banco Mundial, Brasília, DF, 2006, 93p.
- GETIRANA, A. C. V.; BOONE, A.; YAMAZAKI, D.; DECHARME, B.; PAPA, F.; MOGNARD, N. The Hydrological Modelling and Analysis Platform (HyMAP): evaluation in the Amazon basin, **Journal of Hydrometeor**, v.13, p.1641–1665, 2012.
- GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V.; SMIDERLE, O. S. **Recomendações Técnicas para o Cultivo da Soja nos Cerrados de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima. 35p , 2000.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: Princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1, n.2, p. 103-111, 2012
- GÓMEZ-POMPA, A. The role of biodiversity scientists in a troubled world. **BioScience Journal**, v.54, n.3, p.217-225. 2004
- GUEDES, A. E. D. S.; CANDIDO, L. A.; SANTOS, A. R. S. E. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v.8, n.2, p. 88-99, 2013.
- HOLLANDA, M. P.; CECÍLIO, R. A.; CAMPANHARO, W. A.; ZANETTI, S. S., DE ANDRADE, L. N.; GARCIA, G. D. O. Avaliação do TOPMODEL na estimativa do escoamento superficial em microbacia hidrográfica em diferentes usos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 489-496, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de geomorfologia / Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed.** Rio de Janeiro: IBGE, 182 p. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de uso da terra/Manuais técnicos em geociências. – **3. ed.** Rio de Janeiro: IBGE, 171 p, 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, **Banco de dados de cobertura e uso da terra**, 2014. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/cobertura_e_uso_da_terra >. Acesso em: 14 jan 2016.

LEITE, C. C.; COSTA, M. H.; SOARES-FILHO, B. S.; HISSA, L. B. V. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 26, p.2011-2029, 2012.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 176 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

MARENGO. J. A. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: A historical review and current State-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p. 1-19, 2006.

MARENGO. J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D. The Drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p.495-516. 2008.

MATAVELLI, R. A.; LOUZADA, J. N. C. Invasão de áreas de savana intra-amazônicas por *Digitonthophagus gazella* (Fabricius, 1787) (Insecta: Coleoptera: Scarabaeidae). **Acta Amazônica**, v.38, n.1, p. 153-158, 2008.

MATOSO, S. C. G.; ZAQUEO, K. D.; NOBREGA, S. L. Applicability of the ‘Recommendations for Sustainable Land Use’ method for Brazilian tropical soils. **Tropical Conservation Science**. v. 9, n. 2, p. 699-717, 2016.

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

MELLO, E. L. **Modelo de suporte à avaliação do impacto do uso e manejo do solo no balanço hídrico e nas perdas de solo**. 66 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; UCHÔA, S. C. P. Indian land use in the RaposaSerra do Sol Reserve, Roraima, Amazonia, Brazil: Physical and chemical attributes of a soil catena developed from mafic rocks under shifting cultivation. **Catena**, 80:95-105, 2010.

MENESES, M.E.N.S.; DA COSTA, M. L.; COSTA, J. A.V. 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.

- MENESES, M.E.N.S.; DA COSTA, M. L. Caracterização mineralógica e química dos regolitos de uma área de transição savana-floresta em Roraima: uma análise da evolução da paisagem. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p.42-56, 2012.
- MICHELON, C. R., WERLANG, M. K. Modelado de relevo na microbacia do Arroio Cadena - Santa Maria/RS. **Ciência e Natura**, v.26, n.1, p.27-45, 2004
- 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.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models, part I – a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282-290, 1970.
- NETO, R. A.; SILVA, R. C. V.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. Simulação na Bacia Amazônica com Dados Limitados: Rio Madeira. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 47-58, Jul/Set 2008.
- NOBREGA, S. L.; ARAÚJO, W. F; FARIAS, M. M.; RIBEIRO, L. C. Application of geomorphological aspects, land use and occupation for defining Hydrological Response Units (URHs) in the Savana Basin, the northern Brazilian Amazon. **Journal of Agricultural Science**, [2018] aceito.
- PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: Bacia do rio Solimões**. 182 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2009.
- PAIVA, R. C. D; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. **Journal of Hydrology**, v. 406, p.170–181, 2011a.Wm
- PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G. Reduced precipitation over large water bodies in the Brazilian Amazon shown from TRMM data. **Geophys. Res. Lett**, v. 38, n.4, p.1-5, 2011b.
- PAIVA, R. C. D; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; DE GONÇALVES, L. G. G. On the sources of hydrological prediction uncertainty in the Amazon. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.16, p.3127–3137, 2012.
- PAIVA, R. C. D. **Hidrologia da bacia Amazônica: Compreensão e previsão com base em modelagem hidrológica-hidrodinâmica e sensoriamento remoto**. 151 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3) da França. Porto Alegre, RS, 2013.

- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; DE GONÇALVES, L. G. G.; CALMANT, S.; GETIRANA, A.; DA SILVA, J. S. Assimilating in situ and radar altimetry data into a large-scale hydrologic-hydrodynamic model for streamflow forecast in the Amazon. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, p.2929–2946, 2013.
- PONTES, P.R.M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F.M.; PAIVA, R.C.D.; BUARQUE, D.C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 20, n. 4, p.888-904. 2015.
- PRUSKI, F. F. **Conservação do Solo e Água: práticas mecânicas para o uso controle da erosão hídrica**. Viçosa – MG. UFV, 2006. 240p
- RODRIGUEZ, D. A. **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosféricas e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta Amazônica**. Ph.D. thesis, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. 2011.
- RODRIGUEZ, D. A; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin. **Hydrological Processes**. v. 24, p.1254-1269. 2010.
- RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; SANTOS, R. M. D.; SOARES, C. P. B. Estruturação topológica de grandes bases de dados de bacias hidrográficas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 687-696, 2008.
- RIBEIRO, L. C.; NOBREGA, S. L, FARIAS, M. F.; ARAÚJO, W. F.; CAMPOS, R. M.; SARMENTO, A. F. V. Comportamento hidrológico de bacia transfronteiriça em Savana Amazônica: Bacia do Rio Surumu. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, Brasil. Disponível em: <http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-728_comportamento-hidrologico-de-bacia-transfronteirica-em-savana-amazonica-bacia-do-rio-surumu>. Acesso em: 03 set. 2017.
- RICHEY, J.E.; CABRAL, M. C. C.; SANTIAGO, A. V. Recent progress in modeling surface hydrology across the Amazon Basin using a Variable Infiltration Capacity approach. **In: III Conferência Científica do LBA**, Brasília, Brasil, 2004.
- SANDER, C. **Geomorfologia da planície aluvial do alto rio branco em Roraima: dinâmica e processos evolutivos**. 229 p. Tese (Doutorado). Maringá: Universidade Estadual de Maringá.2015.

- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; VALE JÚNIOR, J.F., MELLO, J. W. V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim Museu Para. Emílio Goeldi, série Ciências da Terra**, v. 12, p. 63-104, 2000.
- SIDLE, R. C., ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**. v.18, n.4, p. 594-602, 2004.
- SILVA, D. A.; NASCIMENTO, F. A.; SILVA, L. D.; BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JUNIOR, S. S. Características geomorfológicas e a atuação antrópica na formação da atual paisagem em Boa Vista, Bonfim e Pacaraima. **Revista Acta Geográfica**, n. 6, p.55-64, 2009.
- SILVA, J. M. C.; RYLANDS, A. B.; FONSECA, G.A.B. The fate of Amazonian areas of endemism. **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.689-694, 2005.
- SILVA, J. S.; SEYLER, F.; CALMANT, S.; ROTUNNO FILHO, O. C.; ROUX, E.; ARAÚJO, A. A. M.; GUYOT, J. L. Water level dynamics of Amazon wetlands at the watershed scale by satellite altimetry. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, p. 3323-3353, 2012.
- SILVA DIAS, M. A. F.; COHEN, J. C. P.; GANDÚ, A. W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 215-222, 2005.
- SIMOES, S. J. C.. Interaction between GIS and hydrologic model: a preliminary approach using ArcHydro Framework Data Model. **Revista Ambiente & Água**, v.8, n.3, p. 83-92, 2013.
- SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. IPH-Hydro tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 274-287, 2016
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; SCHLESINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.
- STAUDINGER, M.; STAHL, K.; SEIBERT, J.; CLARK, M. P.; TALLAKSEN, L. M. Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations, **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15, p. 3447-3459, 2011.
- TODINI, E. The ARNO rainfall—runoff model. **Journal of Hydrology**, v. 175, n. 1, p. 339-382, 1996.

- TOLLEFSON, J. A struggle for power Brazil is developing the last great untapped reservoir of hydroelectricity, the Amazon basin. **Nature**, v.479, p.160-161, 2011.
- TRIGG, M. A.; WILSON, M. D.; BATES, P. D.; HORRITT, M. S.; ALSDORF, D. E.; FORSBERG, B. R.; VEGA, M. C. Amazon flood wave hydraulics, **Journal of Hydrology**, v. 374, p.92–105, 2009.
- TRIMBLE, S. W.; WEIRICH, F. H.; HOAG, B. L. Reforestation and reduction of water yield on the Southern Piedmont since circa 1940. **Water Resources Research**, v.23, n.3, p.425–437. 1987.
- TUCCI, C. E., CLARKE, R. T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 2, n.1, p. 135-152, 1997.
- TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, p. 239-253, 2010.
- VALE JÚNIOR, J. F. do; SOUZA, M. I. L. de; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. de S.. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 158-165, 2011.
- VICTORIA, D.C.; BALLESTER, M. V. R.; SANTIAGO, A. V.; PEREIRA, A. R.; RICHEY, J. E.; COSTA-CABRAL, M. C. Simulação hidrológica da bacia Amazônica com o modelo VIC-nL: calibração preliminar na bacia do Juruá. In: **II Congresso de Estudantes e Bolsistas do LBA**, Manaus, 2005.
- VILLAR, J. C. E. RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; COCHONNEAU, G.; NAZIANO, F.; LAVADO, W.; VAUCHEL, P. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v.29, p. 1574–1594, 2009.
- WIGMOSTA, M. S. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v.30, n.4, p. 1665–1679, 1994.
- YAMAZAKI, D.; KANAE, S.; KIM, H.; OKI, T. A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. **Water Resources Research**, v.47, n.4, p. 1-21, 2011.

APÊNDICE A – Vazões mensais de referência Q90 e Q95, em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, dos principais afluentes e pontos de controles na bacia do rio Surumu

Tabela 27 – Vazões mensais Q_{90} ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) dos principais afluentes e pontos de controles na bacia do rio Surumu

Nome	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Igarapé Marauaí	4.69	3.00	2.12	2.70	3.64	7.58	15.88	17.92	15.22	12.65	10.25	7.03
Igarapé do Socó	0.34	0.33	0.26	0.29	0.29	0.56	1.09	1.40	1.23	0.90	0.65	0.41
Igarapé Jandaia	0.23	0.16	0.12	0.12	0.15	0.40	0.72	0.88	0.81	0.62	0.44	0.31
Rio Carananang	0.38	0.26	0.20	0.20	0.28	0.69	1.11	1.46	1.31	0.95	0.65	0.44
Igarapé Grande	1.30	0.86	0.64	0.68	0.98	1.53	3.20	3.92	3.89	3.51	2.41	1.87
Igarapé Sorocaima	0.91	0.50	0.27	0.51	1.14	2.27	3.92	4.99	3.65	2.66	2.21	1.58
Rio Caracanã	0.61	0.51	0.42	0.42	0.45	1.35	2.21	2.58	2.36	1.65	1.11	0.70
Igarapé Uarainu	0.76	0.55	0.45	0.44	0.52	1.54	2.42	2.92	2.58	1.87	1.26	0.82
Rio Tipurema	3.03	1.98	1.37	1.42	2.04	3.79	8.69	11.07	9.73	7.82	6.58	4.79
Igarapé Cuacua	2.07	1.43	1.00	1.14	1.77	3.57	6.82	8.11	6.98	5.58	4.11	2.99
Rio Panari	1.16	0.84	0.64	0.61	0.76	2.12	3.12	3.71	3.34	2.75	2.09	1.53
Rio Miang	4.89	2.72	1.75	2.40	5.25	11.53	23.51	27.69	18.90	14.60	11.85	8.39
Igarapé Anarém	0.37	0.25	0.20	0.20	0.26	0.64	1.03	1.27	1.19	0.90	0.64	0.44
Rio Quino	6.66	4.58	3.72	3.52	4.68	13.56	19.41	24.95	21.32	16.68	12.02	8.64
Faz. Bandeira												
Branca – rio Cotin- go	12.25	8.47	6.51	6.39	9.29	24.16	35.38	46.64	40.01	31.52	23.41	17.44
Vila Surumu – rio Surumu	11.03	6.53	3.83	5.52	12.76	26.30	48.64	58.15	41.51	32.34	26.03	19.05
Igarapé Táxi	2.08	1.41	0.98	1.36	1.65	2.31	5.44	6.12	5.91	5.09	4.20	3.11
Igarapé Urucuri	1.94	1.30	0.98	1.05	1.38	2.46	5.36	6.61	6.31	5.46	3.88	2.87
Maloca do Contão – rio Cotingo	25.22	17.87	13.12	12.98	17.43	47.12	75.56	96.37	77.26	67.18	49.57	36.55
Rio Cotingo	29.29	20.43	14.52	14.53	20.33	49.82	88.08	106.07	88.01	74.72	59.99	44.23
Igarapé Javari	2.96	1.94	1.39	1.62	2.13	3.91	8.22	9.90	8.97	7.66	5.76	4.32
Exutório - Surumu	67.76	43.51	32.03	33.86	53.24	111.13	199.27	245.17	203.01	167.06	142.78	107.43

Tabela 28 – Vazões mensais Q_{95} ($m^3.s^{-1}$) dos principais afluentes e pontos de controles na bacia do rio Surumu

Nome	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Igarapé Marauaí	4.13	2.67	1.92	2.14	3.07	4.29	12.11	14.82	13.51	10.28	8.03	6.17
Igarapé do Socó	0.29	0.28	0.24	0.28	0.23	0.42	0.94	1.22	1.20	0.85	0.57	0.36
Igarapé Jandaia	0.17	0.11	0.11	0.10	0.11	0.22	0.62	0.78	0.73	0.57	0.40	0.25
Rio Carananang	0.24	0.16	0.17	0.14	0.16	0.39	0.99	1.26	1.19	0.83	0.57	0.40
Igarapé Grande	1.15	0.75	0.50	0.62	0.66	0.97	2.48	3.44	3.39	2.69	2.24	1.69
Igarapé Sorocaima	0.82	0.44	0.21	0.43	0.92	1.49	3.36	3.92	3.11	2.36	2.05	1.32
Rio Caracanã	0.50	0.36	0.38	0.36	0.40	0.74	2.01	2.39	2.18	1.48	0.96	0.63
Igarapé Uarainu	0.52	0.36	0.39	0.33	0.42	0.77	2.20	2.59	2.38	1.67	1.11	0.76
Rio Tipurema	1.98	1.30	1.21	1.08	1.60	2.69	7.14	8.36	7.93	6.13	4.70	3.19
Igarapé Cuacua	1.89	1.19	0.74	0.91	1.29	2.41	5.51	7.19	6.46	5.05	3.84	2.68
Rio Panari	0.97	0.66	0.59	0.52	0.64	1.13	2.85	3.24	3.14	2.59	1.93	1.39
Rio Miang	4.18	2.32	1.43	1.98	4.19	6.51	18.95	22.46	16.76	12.46	10.49	6.83
Igarapé Anarém	0.26	0.17	0.17	0.14	0.17	0.35	0.92	1.15	1.11	0.81	0.57	0.41
Rio Quino	5.09	3.44	3.28	2.65	3.89	7.05	17.37	21.12	19.54	15.46	10.79	7.84
Faz. Bandeira												
Branca – rio Cotin- go	9.01	6.14	5.93	4.75	6.99	13.07	31.72	39.25	34.55	28.09	21.18	14.24
Vila Surumu – rio Surumu	9.84	5.45	3.14	4.80	10.15	16.59	40.20	49.19	35.79	27.94	23.72	15.88
Igarapé Táxi	1.78	1.23	0.92	1.09	1.44	1.62	3.55	4.72	4.65	3.73	3.09	2.50
Igarapé Urucuri	1.72	1.16	0.81	0.95	1.01	1.59	4.34	5.75	5.52	4.23	3.46	2.57
Maloca do Contão – rio Cotingo	18.34	12.24	12.16	10.14	14.58	25.19	59.01	82.81	69.29	54.14	40.55	28.04
Rio Cotingo	21.44	14.54	13.51	11.47	16.62	27.59	64.46	93.45	77.69	60.81	45.62	32.20
Igarapé Javari	2.63	1.74	1.25	1.39	1.78	2.48	6.24	8.04	7.73	6.11	4.92	3.85
Exutório - Surumu	53.90	35.77	28.96	27.60	43.72	51.17	152.46	222.26	185.37	143.69	109.38	81.20

