



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PPG PROFÁGUA

**GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM UMA BACIA EXPERIMENTAL
NA AMAZÔNIA CENTRAL**
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DÊNIS AGUERO DO NASCIMENTO

Manaus, Amazonas
Março, 2019



DÊNIS AGUERO DO NASCIMENTO

**GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM UMA BACIA EXPERIMENTAL
NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Dissertação apresentada ao ProfÁgua
como pré-requisito à obtenção do título de
Mestre em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos de Política de Recursos Hídricos
Linha de pesquisa: Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos
Hídricos

Orientadora: Prof^a. Dra. Joecila Santos da Silva

Manaus, Amazonas
Março, 2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

G367g Nascimento, Dênis Agüero do
Gerenciamento de Recursos Hídricos em uma Bacia
Experimental na Amazônia Central / Dênis Agüero do
Nascimento. Manaus : [s.n], 2019.
147 f.: color.; 297 cm.

Dissertação - Mestrado Profissional em Gestão e
Regulação de Recursos Hídricos - Universidade do Estado
do Amazonas, Manaus, 2019.

Inclui bibliografia

Orientador: Joecila Santos Silva

1. Bacia experimental. 2. Recursos hídricos. 3.
Amazônia central. I. Joecila Santos Silva (Orient.). II.
Universidade do Estado do Amazonas. III. Gerenciamento
de Recursos Hídricos em uma Bacia Experimental na
Amazônia Central

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

No dia 25 de março de 2019, às 14h, ocorreu na Escola Normal Superior - ENS, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado do aluno Dênis Agüero do Nascimento, intitulada “**GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM UMA BACIA EXPERIMENTAL NA AMAZÔNIA CENTRAL**”, no Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua. A Banca Examinadora foi composta pelo(a) Profa. Dra. Joecila Santos Silva - Presidente - UEA; Prof. Dr. Isaque dos Santos Sousa - Membro Interno - UEA; Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida - Membro Externo - UFPB; Prof. Dr. Flávio Waschholz - Membro Suplente - UEA; e Prof. Dr. Javier Tomasella - Membro Suplente - INPE. O presidente deu início aos trabalhos convidando os membros a comporem a Banca Examinadora, fez a leitura dos procedimentos de avaliação da dissertação e convocou o aluno para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu por:

APROVAÇÃO

APROVAÇÃO CONDICIONAL DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ATRAVÉS DE DELIBERAÇÃO DE EXIGÊNCIAS ESPECÍFICAS DA BANCA AVALIADORA.

REPROVAÇÃO

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da banca e o aluno.



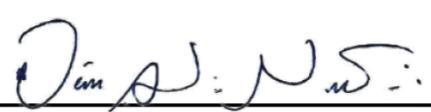
Profa. Dra. Joecila Santos Silva
Presidente – UEA



Prof. Dr. Isaque dos Santos Sousa
Membro Interno – UEA



Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida
Membro Externo – UFPB



Dênis Agüero do Nascimento
Aluno(a)

A senhora Nimia Agüero, minha mãe, por meio da qual perdura a seguinte frase atribuída ao meu bisavô:

"Quien no erra no tiene historia para contar. Con los errores el hombre se vuelve perfecto. El verdadero hombre se convierte en hombre en medio del camino".

Graviel Molina Salinas

AGRADECIMENTO

Este Trabalho me proporcionou algo além da formação em Mestre, me vislumbrou o prazer de conhecer e estudar na Amazônia, divisando-me a oportunidade de ampliar meus conhecimentos e minha atuação profissional, amadurecendo minha pessoa na segurança e na serenidade que só a experiência oferece. Nessa fase me ajudaram muitas pessoas e instituições:

Dra. Professora Joecila Santos Silva. Por ter acreditado e ajudado na condução dos trabalhos através de suas orientações, muito obrigado!

Drs. Carlos Henrique Celes, Javier Tomasella, Adriano José Nogueira Lima, Jefferson Nascimento de Oliveira, Cristiano das Neves Almeida, Luiz Carlos Baldicero Molion, Moacir Alberto Assis Campos, Carlossandro Carvalho de Albuquerque, Sávio José Filgueiras Ferreira, Niro Higuchi e Joaquim dos Santos. Pelas atenções e dicas, muito obrigado!

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Onde trabalho e tenho crescido como profissional, muito obrigado!

Universidade do Estado do Amazonas. Por toda disposição e apoio evidenciados por meio da coordenação local do Prof.Água, muito obrigado!

Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Pela estrutura e oportunidade, muito obrigado!

Programa de Grande Escala da Biosfera/Atmosfera da Amazônia. Por me oportunizar trabalhar na Bacia Experimental do Igarapé Asu por 4,5 anos, onde me encantei pela hidrologia, muito obrigado!

Aos bolsistas, servidores e colaboradores que ao longo dos anos ajudaram na gestão, na manutenção das instalações e instrumentos da BEIA, gerando dados e otimizando os resultados, muito obrigado!

Aos tantos, cuja os nomes aqui não cabem, que me acompanham em minha jornada de crescimento do ocidente ao oriente da vida, que fazem do saber e da temperança as colunas da orientação e dos valores que cultivamos. Muito obrigado!

Ana Carla Reis Nascimento, minha esposa. Pelo apoio, amizade e companheirismo, muito obrigado!

A Deus, regente universal, pela providencia através dessas instituições e pessoas, muito obrigado!

RESUMO

Este Trabalho teve como escopo principal o gerenciamento de dados hidrométricos gerados nos anos julianos de 2015 e 2016 na Bacia Experimental do Igarapé Asu (BEIA). Trata-se de um sítio de pesquisas hidrometeorológicas implementado em meados do ano 2000 e que passou por reinstrumentação e otimização da geração das séries hidrométricas a partir de 2015.

A área analisada corresponde a uma das Seções de monitoramento da BEIA. A superfície foi calculada em 6,31 km², é de floresta primária preservada e está sujeita aos pulsos do regime hidrológico que promove inundações da área de várzea.

Para a melhor avaliação das vazões, determinou-se o coeficiente de rugosidade de Manning no ponto de interesse fluviométrico e converteram-se séries de pressão total em mH₂O para estimativa das vazões pela relação cota / descarga.

Os dados pluviométricos da rede de estações tiveram sua consistência analisada pelo método de Dupla Massa, indicando pouca variabilidade da ocorrência das chuvas na área estudada.

Com a análise morfométrica da bacia, calculou-se a planície com 51% da área de captação, e o platô com 35%. A superfície da planície é próxima do lençol freático, onde nas regiões de fundo de vale o solo é caracterizado por hidromorfia, com rápido saturamento em períodos de chuvas mais intensas, fato que promove por meio do escoamento hortoniano uma célere resposta hidrológica no aumento da cota limnimétrica, porém, com períodos de ressecação longos no tempo de concentração.

O platô tem importante papel no armazenamento de água subterrânea, que em períodos mais estios mantém a dinâmica hidráulica da rede de drenagem por meio de contribuição lateral, assim como, o suprimento da flora das zonas mais baixas. Essa característica provocou recarga deficitária do lençol freático nos anos estudados, fato indicador da suscetibilidade do regime hidrológico da BEIA à variação pluviométrica, sobretudo em anos com incidência de fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) mais intensos, como ocorrido em 2016.

A investigação hidrológica indicou íntima relação entre a zona saturada, a vegetação e a rede de drenagem, variando o coeficiente de runoff entre 0,51 e 0,30 nos anos estudados, dificultando a estimativa indireta da evapotranspiração pelo cálculo do balanço hídrico pelo método simplificado da continuidade da massa.

ABSTRACT

This work had as main scope the management of hydrometric data generated in Julian years of 2015 and 2016 in the Experimental Basin of Igarapé Asu (BEIA). It is a site of hydrometeorological research implemented in the middle of the year 2000 and that went through reinstrumentation and optimization of the generation of the hydrometric series from 2015.

The area analyzed corresponds to one of the Monitoring Sections of BEIA. The area was estimated at 6.31 km², is of primary forest preserved and is subject to the pulses of the hydrological regime that promotes flooding of the floodplain area.

For the best evaluation of the flow rates, the Manning roughness coefficient was determined at the fluvimetric point of interest and total pressure series were converted into mH₂O to estimate the discharge / discharge ratio.

The pluviometric data of the network of stations had their consistency analyzed by the method of Double Mass, indicating little variability of the occurrence of rainfall in the studied area.

With the morphometric analysis of the basin, the plain was calculated with 51% of the catchment area, and the plateau with 35%. The surface of the plain is close to the water table, where in the valley bottom regions the soil is characterized by hydromorphy, with rapid saturation in periods of more intense rains, a fact that promotes through the Hortonian flow a rapid hydrological response in the increase of the quota limnimetric, however, with long periods of recession in concentration time.

The plateau has an important role in the storage of groundwater, which in later periods maintains the hydraulic dynamics of the drainage network by means of lateral contribution, as well as the supply of the flora of the lower zones. This characteristic caused a deficit in the water table in the studied years, a fact that indicates the susceptibility of the hydrological regime of the BEIA to the rainfall variation, especially in years with more intense El Niño - Southern Oscillation (ENSO) phenomenon, as occurred in 2016.

The hydrological investigation indicated an intimate relationship between the saturated zone, the vegetation and the drainage network, varying the runoff coefficient between 0.51 and 0.30 in the studied years, hindering the indirect estimation of evapotranspiration by the calculation of the water balance by the simplified method of the mass continuity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de inter-relações do Ciclo Hidrológico Global.	12
Figura 2 - Atlas pluviométrico anual, em isoietas, da Amazônia brasileira.	14
Figura 3 - Principais rios da bacia Amazônica e suas contribuições médias na vazão total do rio Amazonas.	15
Figura 4 - Área de afloramento dos aquíferos da RH AMZ, com identificação dos que compõem o SAGA.	16
Figura 5 - Direções dos fluxos predominantes da água em sistema aberto.	18
Figura 6 - Vários processos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.	21
Figura 7 - Ciclo de um programa de monitoramento.	24
Figura 8 - Situação da Reserva do Cuieiras dentro das bacias do Rio Cuieiras e do Rio Tarumã Açu, com destaque para a posição das bases de apoio do INPA.	36
Figura 9 - Caracterização da topossequência típica das sub-bacias da bacia do Rio Cuieiras, com os principais de tipos de solo.	39
Figura 10: Normais pluviométricos mensais da região de Manaus baseados em dados monitorados entre 1981 e 2010.	40
Figura 11 – Hidrografia da bacia do igarapé Ambrósio com destaque para as Seções de monitoramento hidrológico do sitio do Programa LBA.	42
Figura 12 - Posições das instalações fixas de monitoramento hidrológico na BEIA.	44
Figura 13 - Posição das estações pluviométricas da BEIA.	49
Figura 14 - Réguas limnimétricas e tubos onde sensores de pressão registram a variação das cotas nas estações fluviométricas da BEIA.	56
Figura 15 - Equipamentos básicos para as atividades de monitoramento freático e Instalações dos poços do platô e da planície.	69
Figura 16 - Apresentação da variação do relevo do transecto de monitoramento freático da Seção 2 da BEIA. O ponto 0 corresponde ao Z0 da régua limnimétrica (RL) e o ponto final corresponde ao local da torre K34, trecho de 816 m com desnível aproximado de 46,8 m. A primeira curva foi formada com dados polares coletados com sensor a laser. A segunda curva é resultante do MDEHC desenvolvido para estimativa morfométrica da BEIA.	73
Figura 17 - Apresentação da área escaneada pela tecnologia LiDAR, no campo do transecto de estudos florestais do LMF e do transecto hidrológico da Seção 2,	

representando cerca de 45% da superfície da BEIA.....	74
Figura 18 - Modelo Digital de Elevação desenvolvido para análise morfométrica da Seção 2 da BEIA.	75
Figura 19 - Gráfico hipsométrico da Seção 2 da BEIA.	76
Figura 20 - Redefinição do ordenamento da rede de drenagem da BEIA, conforme proposta de Strahler (1964).....	77
Figura 21 - Gráficos da análise de Dupla Massa dos dados das estações pluviométricas da BEIA em 2015.	81
Figura 22 - Gráficos da análise de Dupla Massa dos dados das estações pluviométricas da BEIA em 2016.	82
Figura 23 - Visualização dos hietogramas diários e pluviogramas anuais dos anos de 2015 e 2016.	84
Figura 24 - Frequência de cotas nas atividades de descargas observadas e usadas para geração da Curva Chave da Seção 2.	85
Figura 25 - Análise gradual da relação cota/descarga das amostras aplicadas na geração da curva-chave.....	85
Figura 26 - Gráfico de distribuição das amostras de Qobs, Qcalc (n) e Qcal (CC) em relação a Cobs.	86
Figura 27 - Secção batimétrica da Seção 2.	87
Figura 28 - Evolução do gráfico Qcalc (n), em relação ao estimador (Qobs), obtido a partir do ajuste de dois coeficientes de rugosidades.....	88
Figura 29 - Correlação entre cotas observadas e cotas calculadas dos anos de 2015 e 2016.	89
Figura 30 - Variação das cotas geradas com sensor de pressão da estação fluviométrica da Seção 2 nos anos de 2015 e 2016.....	91
Figura 31 - Hidrógrafas dos anos de 2015 e 2016.	94
Figura 32 - Tempo de Concentração, evento em 25/05/2015.	96
Figura 33 - Tempo de Concentração, evento em 12/04/2016.	96
Figura 34 - Analogia entre a ocorrência pluviométrica e a variação do nível freático nos anos Juliano de 2015 e 2016.....	98
Figura 35 - Apresentação do gradiente topográfico do transecto de monitoramento freático da Seção 2 da BEIA.	100
Figura 36 - Nível médio da zona saturada nos anos de 2015 e 2016.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade espacial recomendada para estações pluviométricas, conforme as características fisiográficas e climáticas.....	3
Tabela 2 - Quantidade de água no mundo e seus tempos de circulação, com destaque para o Rio Amazonas.....	11
Tabela 3 - Características dimensionais dos principais aquíferos da Amazônia.....	16
Tabela 4 - Matriz de áreas das bacias e da reserva do Cuieiras com suas correlações em percentuais, tendo como referência a Bacia Hidrográfica Amazônica.....	37
Tabela 5 - Seções de monitoramento hidrométrico da BEIA e as variáveis monitoradas pela CPH e Projetos parceiros.....	42
Tabela 6 - Variáveis monitoradas.....	43
Tabela 7 - Matriz de distâncias dos raios entre as instalações pluviométricas.....	50
Tabela 8 - Descrição das estações pluviométricas da BEIA.....	51
Tabela 9 - Processos operacionais para os dados pluviométricos deste Trabalho...	54
Tabela 10 - Processos para dados de vazão e geração de curvas-chave.....	59
Tabela 11 - Processos dos dados de pressão absoluta.....	67
Tabela 12 - Processos de coleta e edição de dados de lençol freático obtidos com trena métrica adaptada.....	68
Tabela 13: Médias anuais de algumas variáveis hidrológicas da BEIA entre novembro de 2001 e novembro de 2004.....	71
Tabela 14 - Variáveis morfométricas da Seção 2 da BEIA.....	78
Tabela 15 - Dados acumulados mensais da rede pluviométrica da BEIA em 2015 (sem submissão aos critérios do MIT e LMP).....	79
Tabela 16 - Dados acumulados mensais da rede pluviométrica da BEIA em 2016 (sem submissão aos critérios do MIT e LMP).....	80
Tabela 17 - Índice pluviométrico mensal nos anos de 2015 e 2016.....	83
Tabela 18 - Erros estimados para Qcalc (n) e Qcalc (cc).....	88
Tabela 19 - Variáveis indicatórias das cotas do Asu 2 nos anos de 2015 e 2016.....	90
Tabela 20 - Frequência de ocorrência das cotas limnimétricas em 2015 e 2016.....	92
Tabela 21: Matriz de distâncias topográficas entre as instalações dos poços de monitoramento do lençol freático na Seção 2 da BEIA.....	101
Tabela 22: Matriz de distâncias verticais entre as instalações dos poços de monitoramento do lençol freático na Seção 2 da BEIA.....	101

Tabela 23: Resultado das variáveis monitoradas neste Trabalho.	104
---	-----

SIGLAS E ABREVIações

ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APA	Área de Preservação Ambiental
BEIA	Bacia Experimental do Igarapé Asu
BH	Balanço Hídrico
BHAMZ	Bacia Hidrográfica Amazônica
CMA	Coluna Metros de Água (mH ₂ O)
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPH	Coordenação de Pesquisas Hidrológicas
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CTC	Capacidade de troca catiônica
DHSVM	<i>Distributed Hydrology Soil Vegetation Model's</i>
DISER	Divisão de Suporte às Estações e Reservas - DISER.
EMA	Estação Meteorológica Automática
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Enso	<i>El Niño-Oscilação Sul</i>
ERB	<i>Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GoAmazon	<i>Green Ocean Amazon</i>
GRH	Gestão dos Recursos Hídricos
HAND	<i>Height Above the Nearest Drainage</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEA	Indicadores de Desempenho do Estado do Amazonas
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPÊ	Instituto de Pesquisas Ecológicas
IRD	<i>Institut de Recherche pour le Développement</i>
LBA	Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LMF	Laboratório de Modelagem Florestal
LMP	Lamina Mínima Precipitada
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente
MHD	Modelo Hidrológico Distribuído
MIT	Mínimo Intervalo de Tempo
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCN	Núcleos de Condensação de Nuvens
NGee Tropics	<i>Next Generation Ecosystem Experiments</i>
ORSTOM	<i>Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer</i>
OTCA	Organização do Tratado de Cooperação Amazônica
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PNMH	Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PP	Poço Profundo
PPG	Programa de Pós Graduação
PR	Poço Raso
ProfÁgua	Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
PT	Poço Taqueométrico
PVC	Policloreto de Polivinila
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
REHISA	Rede de Hidrologia do Semiárido
RHAMZ	Região Hidrográfica Amazônica
RHASA	Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia
RL	Régua Limnimétrica
SAGA	Sistema Aquífero Grande Amazônia
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SMHN	Serviços Meteorológicos e Hidrológicos Nacionais
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TC	Tempo de concentração
TDR	Time Domain Reflectometer
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
UNESCO	Organização das Nações Unidas Para a Educação, Ciência e Cultura
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WGS 84	<i>World Geodetic System 1984</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

CAPITULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto e Justificativa.....	1
1.2 Relevância.....	6
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo Geral.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos	8
CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Fundamentação teórica.....	9
2.1.1 Ciclo Hidrológico e Seus Componentes	9
2.2 As Grandezas dos Recursos Hídricos da Bacia Amazônica	12
2.3 Os Processos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica	17
2.4 Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica	20
2.5 Geração e Consistência de Dados Hidrológicos	23
2.6 Bacias Experimentais e Representativas	25
2.6.1 Bacias Experimentais e Representativas na Amazônia	30
CAPITULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	35
3.1.1 Reserva do Cuieiras e a Bacia do Rio Cuieiras.....	35
3.1.2 Seções de Monitoramento Hidrológico da BEIA.....	40
3.1.3 Variáveis Monitoradas.....	42
3.2 Métodos.....	44
3.2.1 Desenvolvimento do MDEHC da BEIA.....	44
3.2.3 Morfometria da Seção 2 da BEIA	46
3.3 Pluviometria.....	48
3.3.1 A Rede Pluviométrica da BEIA	48
3.3.2 Consistência e filtragem dos dados pluviométricos	53
3.4 Fluviometria.....	55
3.4.1 Medição da Descarga Hidráulica.....	57
3.4.2 Geração da Curva Chave para a Seção 2.....	58
3.4.3 Estimativa do Coeficiente de Rugosidade de Manning	59
3.4.4 Cota Limnimétrica.....	61

3.4.5	Modelagem das Vazões Sem Cotagrama	63
3.4.5.1	Estimativa do Tempo de Concentração	64
3.4.6	Vazões calculadas.....	65
3.5	Monitoramento Freático.....	66
3.6	Balanço Hídrico	70
CAPITULO 4: ANÁLISES		72
4.1	Consistência do MDEHC	72
4.2	Análise Morfométrica da Seção 2.....	75
4.3	Análise dos Dados Pluviométricos	78
4.4	Fluviometria.....	85
4.4.1	Descargas Observadas	85
4.4.2	Ajuste da Curva-Chave com Índice de Rugosidade de Manning.....	86
4.4.3	Análise dos Cotagramas	89
4.4.4	Análise das Vazões Modeladas.....	93
4.4.4.1	Análise do Tempo de Concentração	95
4.4.5	Vazões calculadas.....	97
4.5	Análise dos Dados Freáticos	97
4.6	Balanço Hídrico	104
4.7	Dinâmica Hidráulica da Seção 2 da BEIA	105
4.8	Conclusões.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		111
ANEXOS		127

CAPITULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Justificativa

O Brasil, através da institucionalização da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), constituída na Lei 9.433/97 (Lei das Águas), alterada pela Lei 9.984/2000, regulada pelo Decreto 2.612/98, inseriu de modo analítico a gestão das águas na agenda da política nacional. O objetivo principal da gestão desse recurso é entender suas variáveis comportamentais, obtendo subsídios para o seu gerenciamento ambientalmente sustentável (BRASIL, 1997).

De acordo com o art. 8º, da PNRH, os Planos de Recursos Hídricos serão elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o país. A adoção da bacia hidrográfica como entidade sistêmica para estudos e gerenciamento dos recursos hídricos se dá pela constatação de que seu sistema ambiental aberto se inter-relaciona com a atmosfera e com os ecossistemas terrestres. Essa inter-relação está diretamente condicionada as características biológicas e geomorfológicas da bacia (SILVEIRA, 1993).

A Agência Nacional de Águas (ANA), institucionalizada pela Lei 9.984/2000, sendo a autarquia do governo federal responsável pelo monitoramento, registro de informações hídricas, bem como, a implementação da PNRH no Brasil, criou o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), atendendo a uma das preconizações da Lei das Águas. Trata-se de um sistema de registro, coleta, edição, armazenamento e recuperação de dados hidrológicos, bem como, fatores intervenientes para sua gestão (ANA, 2017). O banco de dados do SNIRH é alimentado principalmente por estações pluviométricas e fluviométricas operadas pela ANA e por instituições parceiras.

Como estratégia de planejamento e gerenciamento do monitoramento hidrológico, para a análise distributiva e do uso das águas, que percorrem diversas bacias, atendendo as mais variadas finalidades no território brasileiro, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da Resolução nº32 de 2003, dividiu a hidrografia brasileira em 12 regiões hidrográficas. Para definição espacial dessas regiões, consideraram-se características naturais, sociais e econômicas similares., sendo estas, formadas por grandes bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas (ANA, 2017).

A Região Hidrográfica Amazônica (RHAMZ) é a maior com cerca de 3.879,000 km², ocupando aproximadamente 45 % do território nacional, é formada pela porção brasileira da bacia do rio Amazonas, além de outras pequenas bacias no estado do Amapá, cuja as fozes são no oceano Atlântico, a exemplo dos rios Oiapoque e Araguari (ANA, 2016).

O Brasil tem avançado no monitoramento hidrometeorológico de suas regiões hidrográficas aumentando a rede e modernizando suas instalações com uso de sensores automáticos ligados a plataformas de coleta de dados (PCD), que transmitem informações remotas às salas de monitoramento da ANA. São aproximadamente 11.000 estações hidrométricas, administradas por entidades governamentais e privadas, dentre as quais 4.200 representam a rede básica nacional, administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017; CPRM, 2017), no entanto, ainda existem desafios para se alcançar excelência, principalmente na região norte do Brasil, caracterizada por suas extensas florestas e grande disponibilidade hídrica.

A densidade das estações na Amazônia é considerada baixa, conforme constatado por Ishihara *et al.*, (2014) em 2012, quando estudaram a distribuição das 1.490 estações pluviométricas do SNIRH na região da Amazônia Legal, verificando a relação média de uma estação para 3.343,91 km², enquanto a *World Meteorological Organization* (WMO)¹ recomenda que essa relação seja de uma estação para no máximo 900 km², isso, para a Amazônia Central, caracterizada como região plana de zona temperada, mediterrânea e tropical. Considerando a variação topográfica da bacia Amazônica, base de estudo deste Trabalho, onde há formações montanhosas, tal como o baseamento das Cordilheiras do Andes a oeste da bacia, a relação de densidade recomendada pela WMO é de uma estação para no máximo 250 km² (WMO, 2011), conforme Tabela 1.

Uma das consequências da baixa densidade das estações na Amazônia são as lacunas no conhecimento da relação mais acurada entre o clima e a dinâmica hidrológica de superfície dessa região, agravada pelas poucas séries de monitoramento de longo prazo, com mais de 50 anos e relativa consistência (TOMASELLA *et al.*, 2007; ISHIHARA *et al.*, 2014).

¹ Entidade Internacional com sede em Genebra, na Suíça. Agência entidades meteorológicas regionais de países signatários a Organização das Nações Unidas, monitorando o comportamento do clima terrestre.

Tabela 1 - Densidade espacial recomendada para estações pluviométricas, conforme as características fisiográficas e climáticas.

Característica Fisiográfica	Limite das normas para uma rede mínima (km² por estação)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais.	575 – 900
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais.	100 – 250
Pequenas ilhas, áreas montanhosas com precipitação muito irregular e perímetros urbanos	10 - 25
Zonas áridas e polares	1.500 – 10.000

Fonte: Adaptado de Ishihara, *et al.*, (2014) e WMO (2011).

Outro fator preponderante na carência dos estudos pluviométricos na Amazônia é a distribuição das estações pluviométricas, considerada como não homogênea (ISHIHARA *et al.*, 2014). A WMO (2011) recomenda que a distribuição das estações seja a mais uniforme possível, pois correspondem às necessidades práticas dos dados, devendo ser determinada por critérios que considerem a escala espacial da área de monitoramento, além dos fenômenos meteorológicos temporários, associados às variações das características fisiográficas da região de estudo.

Além da baixa densidade de estações instaladas na Amazônia, muitas já se encontram desativadas, e outras apresentam erros e descontinuidades nos registros da variável, o que dificulta um estudo de séries históricas (ISHIHARA *et al.*, 2014). Fatores relacionados à grande extensão territorial, ausência de mão de obra qualificada e a difícil acessibilidade às estações, também dificultam os trabalhos de monitoramento (SANTOS, 2010; ANA, 2017).

A riqueza hídrica da Amazônia é incomparável, tem um importantíssimo papel hidrodinâmico através da floresta, sendo geradora de água. Suas zonas úmidas influenciam no balanço energético da Terra, que impulsiona os sistemas de temperatura e precipitação, sendo influente em escala regional e planetária (NGEE-TROPICS, 2014). De modo simplificado, o clima, tanto em microescala quanto em macroescala é o principal agente na ocorrência do ciclo hidrológico. No plano local, a

temperatura da atmosfera promove a evapotranspiração e eleva a umidade que passa por processos físicos na atmosfera e forma nuvens de chuva sobre a floresta. Em escalas maiores, esse processo se repete, porém, com aquecimentos diferenciados devido a variabilidade das características biofísicas da superfície terrestre, gerando massas atmosféricas diferenciadas em umidade e temperatura, interagindo com o clima local (BORMA, 2013).

Segundo o Plano Científico do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia - LBA², a região Amazônica pode ser categorizada como área de grande risco ambiental devido à mudança climática do planeta e pelos efeitos antrópicos evidenciados nos processos desordenados de ocupação da região. Dados históricos, obtidos em torres meteorológicas do Programa LBA, mostraram que em sítios experimentais de alta pluviosidade, onde as estações secas caracterizam-se por períodos breves, as taxas de evapotranspiração oscilaram entre 3 a 3,5 mm d⁻¹, em períodos secos a evaporação aumenta em torno de 10%. Já em áreas de savana a resposta é inversa, a evaporação diminui em períodos secos devido à umidade reduzida do solo. Essa análise constata que o desmatamento reduz a evaporação da estação seca ainda mais (NOBRE *et al.*, 2009).

A evaporação influencia a chuva por meio de processos de reciclagem atmosférica, intervindo também nos padrões regionais de temperatura, umidade do ar e umidade do solo. As combinações de fluxos de calor latente promovem a produção de chuvas convectivas. Considerando que a transpiração é ligada à atividade fotossintética da vegetação, ela tem papel importante na funcionalidade e manutenção biofisiológica do ecossistema Amazônico (BORMA, 2013).

A troca de energia entre a floresta Amazônica e a atmosfera é bastante intensa, mudanças decorrentes da intervenção humana nos ecossistemas Amazônicos, podem provocar impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade e conseqüentemente no ciclo hidrológico, o que causaria mudanças na hidrodinâmica de superfície e inevitavelmente nos estoques das águas, alterando o balanço hídrico da bacia (VAL; SANTOS, 2008; NOBRE, 2014; CHAMBERS; ARTAXO, 2017).

² O Programa LBA é gerenciado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTI) e coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Sua missão é contribuir cientificamente no desenvolvimento dos modelos de previsão climática; ampliar o entendimento sobre o funcionamento dos ecossistemas da região e integrar as dimensões sociais e econômicas às pesquisas ambientais de ponta. Isso em três grandes áreas integradas: interação biosfera-atmosfera, o ciclo hidrológico e as dimensões sócio-políticas e econômicas das mudanças ambientais da Amazônia (LBA, 2017).

As águas fluviais, associadas aos ambientes terrestres, compõem importante papel no ciclo hidrológico, são elas atuantes na formação das paisagens por serem conexas aos sistemas da área de captação, que é diretamente associado a dinâmica de circulação hídrica de superfície e a evapotranspiração. Esses e outros fenômenos estabelecem o ciclo hidrológico nas diversas regiões da bacia Amazônica, influenciado por suas variáveis (BORMA, 2013; SILVA, 2010). Tais variáveis integram-se em um ciclo dinâmico que pode ser medido através da análise dos vários componentes hidrológicos integrados por meio de um balanço hídrico (BH): precipitação, infiltração, deflúvio, evaporação e transpiração (KOBAYAMA *et al.*, 2011).

A variabilidade intra-sazonal e interanual das chuvas na bacia Amazônica influencia expressivamente os componentes do balanço hídrico. Essa variabilidade e a falta de dados hidroclimáticos detalhados em menores escalas espaciais criam incertezas quanto ao fechamento do balanço hídrico (TOMASELLA *et al.*, 2007).

Algumas características da abundância hídricas da Amazônia já são conhecidas pela comunidade científica, no entanto, com as novas informações emergem novas dúvidas e lacunas científicas no âmbito da relação indissociável dos recursos hídricos e o meio ambiente, ponderando para investigações em escalas mais pontuais e criteriosas, considerando-se uma maior representação da heterogeneidade que compõem as bacias hidrográficas em diferentes regiões da diversidade Amazônica e como isso influencia no balanço hídrico em micro, meso e grande escala espacial e temporal (TOMASELLA *et al.*, 2007; L'VOVICH, 1979).

As variáveis hidrológicas observadas por longa série temporal servem como indicadores das transformações ocorrentes pela alteração da ocupação do solo. A relação entre precipitação e vazão, associadas à temperatura do ambiente, são elementos estudados há tempos pela comunidade científica em todo o mundo, já que influenciam diretamente na formação da paisagem terrestre, assim como nos ecossistemas (MARENGO, 2015).

Outro efeito antrópico que influencia o ciclo hidrológico na Amazônia, além da ocupação irregular do solo, são os gases poluentes emitidos por queimadas e pelos grandes centros urbanos, tal como a cidade de Manaus, que segundo os Indicadores de Desempenho do Estado do Amazonas, tem mais de 2 milhões de habitantes e 735 mil veículos (IDEA AMAZONAS, 2018). Essa poluição afeta a disposição das partículas de aerossol emitidas pelas árvores, sendo elas núcleos de condensação (NCN) essenciais no processo de formação de nuvens (JIWEN FAN *et al.*, 2018).

Estudos quantitativos do ciclo hidrológico em escalas menores na bacia Amazônica ajudariam a entender as ocorrências dessa dinâmica em escala macro. A informação hidrológica, obtida com dados estatísticos gerados em menores escalas espaciais, ainda é incipiente na região norte do Brasil. Diante desse cenário, as bacias experimentais se evidenciam como instrumentos de campo para a geração de dados contributivos ao SNIRH na região Amazônica, sendo também, laboratório de formação de mão de obra especializada.

1.2 Relevância

A sustentabilidade implica opções claras quanto ao uso dos recursos naturais, nomeadamente nas perspectivas de conservação e preservação, com incidências na economia e na sociedade, no progresso científico e tecnológico, e no equilíbrio entre o meio ambiente e crescimento do bem-estar social. Assim, seguindo o conceito proposto pela FAO (1995), a sustentabilidade no uso dos recursos naturais, implica a sua gestão conservativa, que o seu uso seja ambientalmente amigável, recorrendo a tecnologias apropriadas, assegurando a viabilidade econômica das soluções técnicas e das tecnologias, e cuidando da aceitabilidade social das inovações. A sustentabilidade do uso da água implica os mesmos desafios, favorecendo o conhecimento acerca dos processos envolvidos no ciclo hidrológico, permitindo a previsão de suas ocorrências de forma a embasar a decisão dos gestores.

Por sua vez, as características físicas de uma bacia hidrográfica estão correlacionadas ao regime hidrológico da mesma, sendo assim, de grande importância e utilidade prática do conhecimento destes elementos, uma vez que se estabelecendo relações e comparações entre eles e os dados hidrológicos, é possível determinar indiretamente os valores hidrológicos de outras áreas (VILLELA; MATTOS, 1975). Nesse contexto, os dados sistemáticos em escalas mais pontuais, contribuem para uma melhor interpretação da influência de ocupação do solo, permitindo uma visão mais ampla das variações quantitativas dos recursos hídricos, criando subsídios para planos de gestão mais sólidos e eficazes. Quanto mais precisas forem as informações sobre os agentes que intervêm direta e indiretamente nos componentes envolvidos no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, mais assertivas se tornam as decisões de gerenciamento das águas (TOEBES; OURYVAEV, 1970).

Adicionalmente, o enfoque do monitoramento das variáveis do ciclo hidrológico

da BEIA, estabelecidos pelo presente estudo, proporciona a possibilidade de explorar alguns temas essenciais para o entendimento da dinâmica hidrológica e da gestão de grandes bacias hidrográficas, além de contribuir para o preenchimento de lacunas na área do conhecimento hidrológico da maior bacia hidrográfica do mundo. Uma vez que, entender as variações que influenciam as grandezas dos fluxos e estoques de água na Amazônia, associados aos fenômenos hidrológicos regionais, gerando dados pontuais, favorece uma melhor compreensão analítica dos balanços hídricos na bacia Amazônica, tanto em micro quanto em macroescala, fator importante para a Gestão dos Recursos Hídricos (GRH), principalmente diante dos seus importantes serviços ambientais (PNUMA/OTCA, 2008).

A necessidade de se implementar bacias experimentais na Amazônia, se afronta com a dificuldade de se mantê-las, entre os motivos está a escassez de mão de obra especializada e as complicações nos procedimentos técnicos de monitoramento hidrométrico associados as adversidades do meio natural amazônico.

A viabilização dessa proposta fortalece o intercâmbio de pesquisas e a troca de conhecimentos entre a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Essa proposta se consolida através do Programa LBA, que atua em pesquisas associadas à hidrometeorologia da região Amazônica no âmbito dos seus diversos projetos de pesquisas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa compreender a dinâmica hidráulica da Bacia Experimental do Igarapé Asu (BEIA), sitio de pesquisas do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA, nos anos julianos de 2015 e 2016 através da análise das variáveis de precipitação pluviométrica, fluviometria e variação do lençol freático monitorados nas instalações do transecto da Seção 2.

Visa-se, ainda, com este Trabalho, ressaltar a importância de bacias experimentais como instrumento de estudos hidrológicos, principalmente para a região Amazônica por suas importantes características hídricas e ambientais, além de suas aplicações na gestão dos recursos hídricos.

1.3.2 Objetivos Específicos

O escopo do objetivo geral passou pelos seguintes objetivos específicos:

- a. Desenvolver o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente da BEIA, usando dados LiDAR e SRTM, gerando os índices morfométricos básicos;
- b. Analisar a consistência dos dados da rede pluviométrica da BEIA pelo método de dupla massa, obtidos com pluviógrafos de balança e pluviômetros auxiliares;
- c. Analisar dados da variação do lençol freático obtidos por meio de registros de pressão absoluta em sensores, assim como, dados coletados com trena métrica adaptada;
- d. Analisar dados de pressão absoluta, convertendo-os em série mH₂O por meio de compensação barométrica e uso de referências métricas observadas, estimando a variação da cota fluvial da Seção 2 da BEIA;
- e. Analisar dados de descarga hidráulica resultantes do método de dissolução química, usando-os como estimador no cálculo do coeficiente de rugosidade de Manning para a Seção 2 da BEIA;
- f. Estimar vazões periódicas pela equação da relação cota/descarga determinada a partir do coeficiente de rugosidade da estação fluviométrica;
- g. Apresentar a estimativa do balanço hídrico da BEIA para os anos julianos de 2015 e 2016.

Para o êxito nos processos da realização deste estudo, contou-se com a participação e apoio dos recursos da Coordenação de Pesquisas Hidrológicas (CPH) do LBA, do Laboratório de Modelagem Florestal (LMF) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), além do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) da Universidade do estado do Amazonas (UEA).

CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentação teórica

2.1.1 Ciclo Hidrológico e Seus Componentes

O ciclo hidrológico consiste numa sequência de complexos processos de circulação da água em todas as suas fases físicas: líquido, sólido e gasoso. Esta circulação ocorre em três partes do sistema global, sendo:

a) Atmosfera: o vapor atmosférico, resultante, principalmente do aquecimento da superfície pela radiação solar, através dos núcleos de condensação, constitui a formação de nuvens de chuvas. É repostado continuamente pela evapotranspiração até cerca de 15 km de altura. Esse processo de formação de chuvas, compõe a principal fonte renovável de água doce para a superfície;

b) Hidrosfera: sendo uma das divisões da biosfera, compreende a concentração da água em todas as suas fases, sejam os corpos hídricos da superfície, assim como as águas subterrâneas, águas glaciais e lençóis de gelo, além do vapor de na atmosfera;

c) Litosfera: é formada pela crosta terrestre e por parte do manto superior, nela a água é armazenada em vazios de variados tamanhos e em variadas profundidades (LIMA, 2008).

O tempo de circulação dessas águas no ciclo hidrológico é relativo as condições de acondicionamento delas, se são confinadas ou se possuem interconexões com a superfície (TUCCI, 2015). A profundidade da hidrosfera na litosfera, considerando a relação no balanço hídrico global, é controversa, de acordo com Lima (2008) as águas subterrâneas apresentam uma dinâmica continua até 1 km de profundidade; Pimentel e Hamza (2014) consideram haver contínua inteiaração em camadas de até 4km de profundidade.

Quanto ao vapor de água na atmosfera, de acordo com Chambers e Artaxo (2017); Khanna *et al.*, (2017) a ocorrência das suas quantidades está associada a fatores climáticos, correspondendo a distância da biosfera, onde a circulação de umidade é maior. No caso da região Amazônica, observou-se a formação de coalescência de gotas em núcleos de condensação orgânicos em até 15 km de altura.

A contínua transferência de água de um estado para outro não tem começo, trata-se de uma sequência fechada da água existente na Terra. Esse ciclo dinâmico está relacionado a fatores meteorológicos promovidos substancialmente pelo aquecimento da superfície terrestre pela radiação solar, causando a evapotranspiração das águas contidas nos primeiros níveis da superfície dos continentes e dos oceanos. A água evaporada se torna parte da atmosfera, onde ocorrem processos físicos de condensação e coalescência, resultando em nuvens de chuva (TUCCI, 2015).

A superfície dos oceanos influencia significativamente o ciclo da água no planeta. Quando analisada em escala global, a precipitação média nos oceanos é cerca de 3,5 vezes maior do que a precipitação média dos continentes, assim como a evaporação média dos oceanos é cerca de 6 vezes a média da evaporação dos continentes. Partindo-se do Princípio da Conservação de Massa, que estabelece a relação entre entrada e saída de água de um sistema, pode-se calcular a taxa dessa relação com a Equação 1. O saldo dos oceanos na relação chuva e evaporação é negativo, em média, a grande massa de vapor oriunda dos oceanos é maior do que a chuva incidente neles. A umidade positiva dos oceanos é transportada por correntes atmosféricas aos continentes, onde grande parte precipita de várias formas (LIMA, 2008; TUCCI, 2015).

Equação 1: Princípio da Conservação de Massa

$$\Delta S = I - O$$

Onde: (ΔS) corresponde à variação no armazenamento, (I) aos fluxos positivos e (O) os fluxos negativos.

A água precipitada nos continentes passa por vários sistemas bióticos e abióticos nos variados formatos da paisagem da superfície, onde as condições de interceptação, seja por superfície permeável ou impermeável, condicionam o destino da água, sendo: a) à atmosfera novamente; b) ao solo; c) aos corpos hídricos superficiais (lênticos ou lóticos), onde a água pode voltar ao oceano pelo efeito fluviométrico (MENDONÇA, 2016).

As condições de variabilidade dos processos do ciclo hidrológico são implícitas em todas as escalas espaciais, porém com efeitos diferentes. A dinâmica da

ocorrência dessas variáveis promove fenômenos não lineares difíceis de serem previstas (MARENGO, 2000; TUCCI, 2015).

Nessas condições, estimar a escala temporal dos processos que envolvem a cotização dos estoques e os quantitativos circulantes, compõem um dos desafios da hidrologia, no entanto, no afincado de análise e compreensão do sistema da circulação da água em escala global, pesquisadores tem estimado o volume total de água no planeta, a exemplo: L'vovich (1979), que através de seus estudos quantificou o volume na ordem de 1.384,518 milhões de km³, sendo a maior parte água salgada nos oceanos e em seguida água doce congelada ou confinada no subterrâneo. A Tabela 2 apresenta a distribuição das cotas do volume total da água do mundo, conforme os dados estimados pelo autor.

Tabela 2 - Quantidade de água no mundo e seus tempos de circulação, com destaque para o Rio Amazonas.

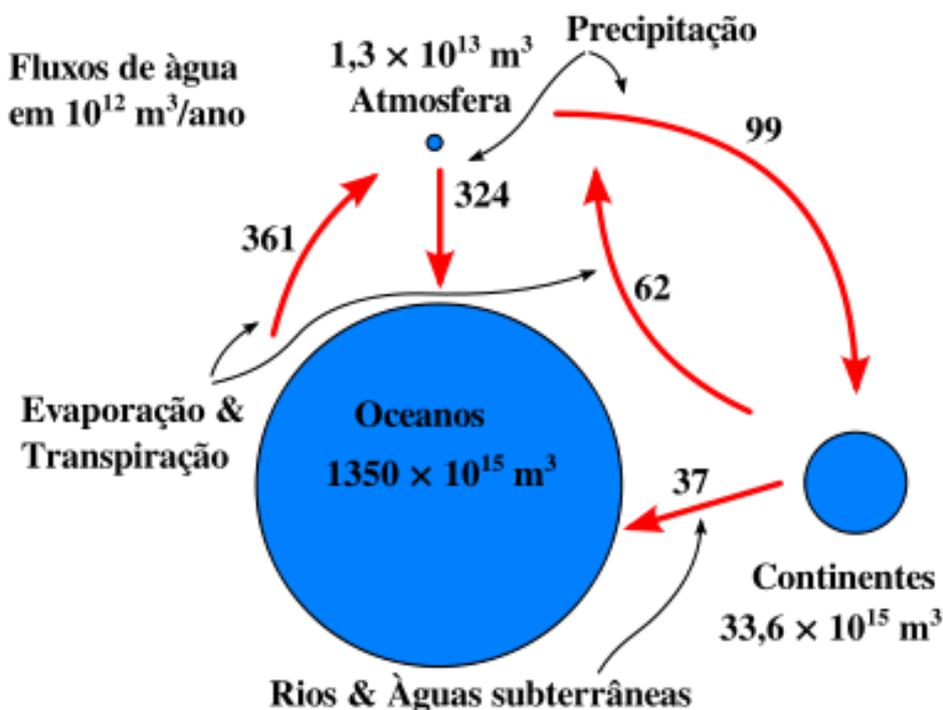
Componente	Volume (10³ km³)	(%)	Quantidade transportada (10³ km³/ano)	Tempo de circulação (ano)
Oceano	1.349.929	97,501730	418	3229
Glacial	24.230	1,750068	2,5	9692
Água subterrânea	10.100	0,729496	12	841
Água do solo	25	0,001806	76	0,3
Lagos	219	0,015818	38	5,7
Rios (todos)	1,2	0,000087	35	0,026 (13 dias)
Rio Amazonas	0,24	0,000017	7	-
Fauna e flora	1,2	0,000087	-	-
Vapor na atmosfera	12,6	0,000910	483	0,026 (10 dias)
Total	1.384.518,0	100	-	-

Fonte: Adaptado de Kobiyama *et al.*, 2011 e L'vovich, (1979).

O tempo de circulação exibido na Tabela 2, representa o período médio estimado da reposição natural da porção de água do componente, e pode ser estimado pela razão entre o volume total e a quantidade transportada. Embora esse

período seja relativo aos condicionantes naturais do ambiente, ele indica a escala do espaço temporal de reciclagem e recomposição natural dos sistemas aquáticos (KOBAYAMA *et al.*, 2011). A Figura 1 exemplifica em esquema, o balanço hídrico global em relação as partes que a compõem, apresentando os volumes aproximados de cada componente, conforme L'vovich (1979).

Figura 1 - Esquema de inter-relações do Ciclo Hidrológico Global.



Fonte: Projeto de Didier Vanden Berghe.

2.2 As Grandezas dos Recursos Hídricos da Bacia Amazônica

Do total de água doce em rios e lagos, cerca de 20% vaza pela bacia Amazônica, onde vivem menos de 0,29% da população mundial (Tabela 1). Se tratando de Brasil, a densidade populacional na região Amazônica é 10 vezes menor que a média nacional, entretanto, concentra 81% da disponibilidade das águas superficiais do país (ANA, 2017).

A bacia Amazônica, por sua extensa área de drenagem, tendo o Rio Amazonas com aproximadamente 6.992,06 km (INPE, 2008) caracteriza-se por uma complexa rede hídrica formada por condições geomorfológicas variadas. O degelo dos Andes somados as altas precipitações de influência orográficas em suas bases atuam na formação de seis dos doze principais tributários do rio Amazonas (PNUMA/OTCA,

2008). A planície Amazônica, devido sua baixa declividade, que durante as cheias dos rios é conseqüentemente inundada, é representada pela maior área de floresta tropical úmida do mundo, sendo considerada como a maior fonte continental de liberação de calor latente para a atmosfera (SILVA, 2010).

Buscando entender o equilíbrio hídrico entre precipitação e evapotranspiração na Amazônia, Nobre (2014) estudou a emissão de umidade da floresta em relação a precipitação nela incidida. Procurando quantificar essa relação, concluiu que a região Amazônica lança na atmosfera cerca de 20 bilhões de m³ de água por dia. O vapor de água liberado pelas áreas inundadas da floresta, somados a transpiração das árvores, define a Amazônia como a maior região de convecção do planeta (MARENGO, 1998).

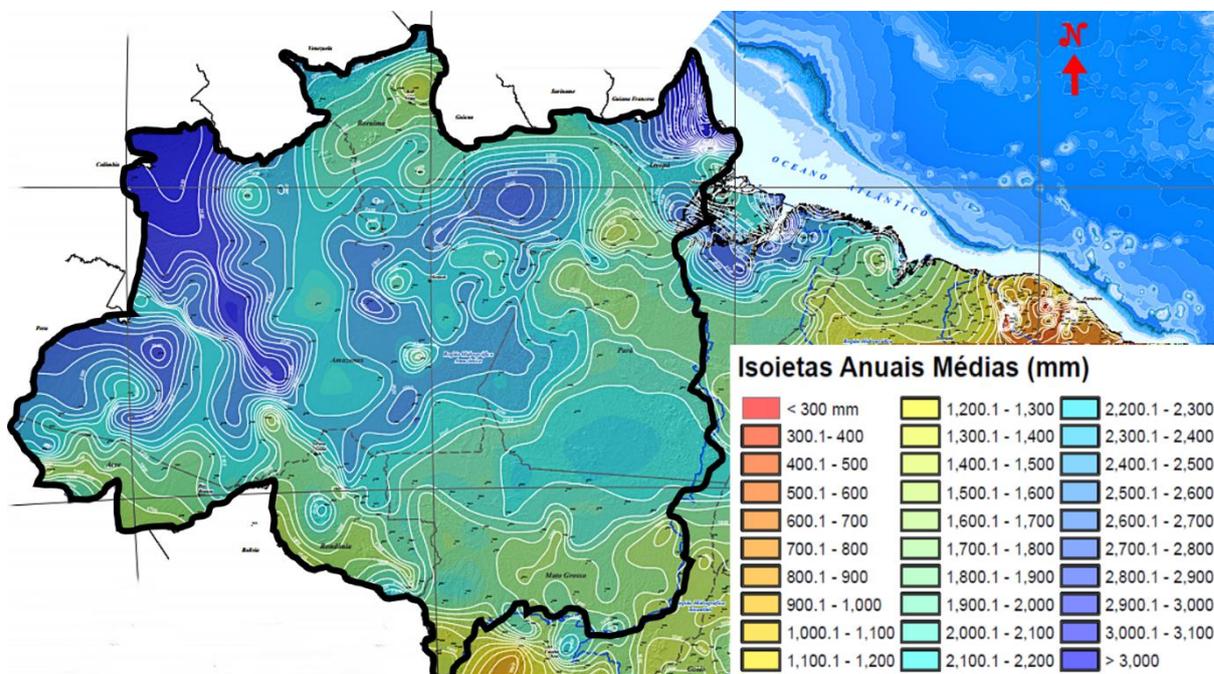
Estudos dos processos dinâmicos das circulações atmosféricas de macro e meso-escala na região norte do Brasil efetuados por Molion (1987), apontaram que correntes de instabilidade originadas na costa Norte e Nordeste do litoral do Atlântico seriam o principal meio de entrada de umidade da Amazônia. A convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis promovem o célere intercâmbio da água entre a floresta e a atmosfera, sendo esse um dos mecanismos atmosféricos que dinamizam a pluviosidade na Amazônia. Ainda segundo o pesquisador, os acumulados convectivos de meso e larga escala combinam-se com a penetração de sistemas frontais da região Sul e Sudeste do Brasil, sendo este, também, um mecanismo de geração de chuvas.

As precipitações variam de acordo com o regime pluviométrico, estando entre 1.500 a 3.500 mm/ano, conforme região da RHAMZ, contribuindo para uma captação de água na ordem de 12.000 km³ a 16.000 km³/ano (FISCH; NOBRE, 1998; BARTHEM *et al.*, 2004). O atlas pluviométrico anual da Região Hidrográfica Amazônica (RH AMZ) pode ser visto na Figura 2.

A ocorrência da altura pluviométrica anual pode ser substancialmente alterada pelo Segundo Molion (2017) a região norte do Brasil tem a ocorrência de sua pluviosidade alterada pelo fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), que devido variações de aumento na temperatura da superfície do mar do Pacífico influencia nas condições climáticas de grande escala com significativo efeito no transporte de umidade para os continentes. Na região equatorial da América do Sul os efeitos se caracterizam por relevantes irregularidades pluviométricas que diminuem a altura da precipitação acumulada. Esse fenômeno teve significativo impacto no regime

pluviométrico da Amazônia em 2016, conforme publicado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA 2017).

Figura 2 - Atlas pluviométrico anual, em isoietas, da Amazônia brasileira.

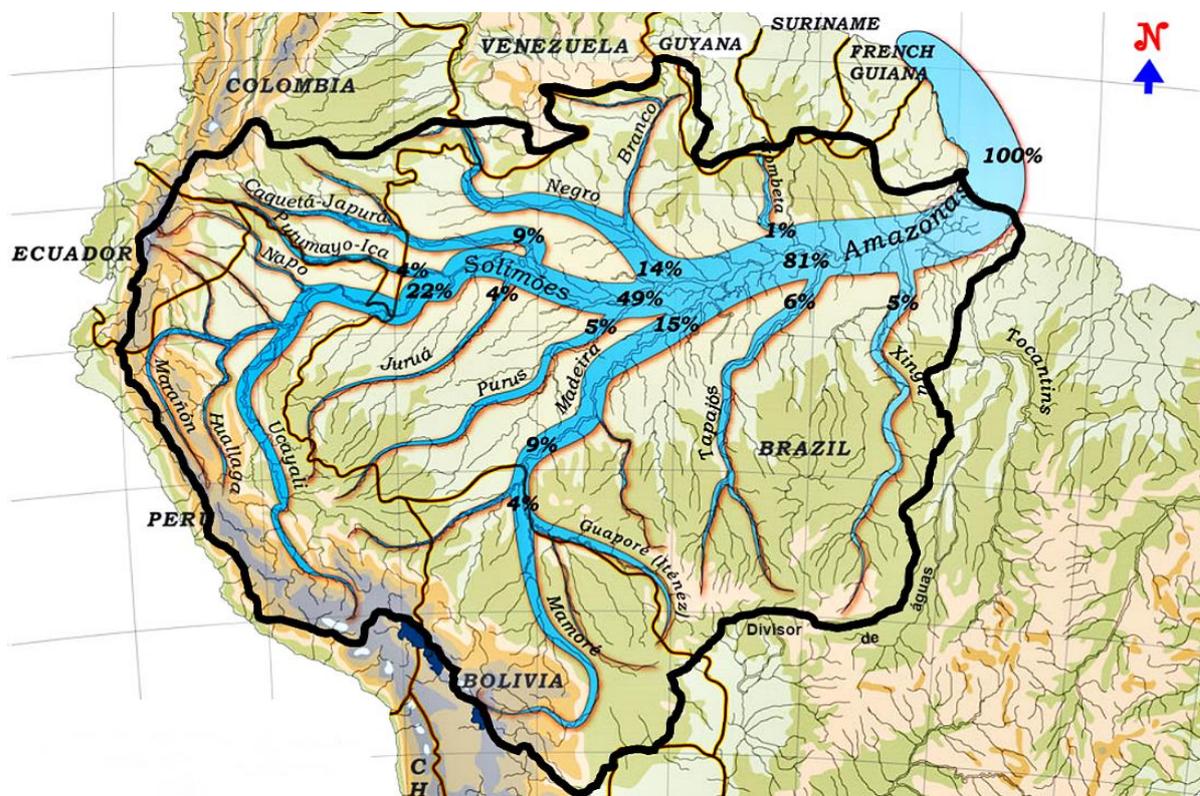


Fonte: CPRM (2017).

O alto volume captado na bacia Amazônica também se evidencia na grandeza da vazão do rio Amazonas, que descarrega no oceano Atlântico em média 220.000 m³/s de água, com picos que atingem a marca de 300.000 m³/s (PNUMA/OTCA, 2008).

A água drenada na bacia Amazônica é colhida de mais de mil afluentes diretos, dos quais, três se destacam por terem comprimentos maiores de 3.000 km, rios Madeira, Purus e Juruá (INPE, 2008; ANA, 2017). Na Figura 3 é possível visualizar a participação média dos principais rios da área de drenagem da bacia Amazônica na vazão do rio Amazonas.

Figura 3 - Principais rios da bacia Amazônica e suas contribuições médias na vazão total do rio Amazonas.



Fonte: Adaptado de Águas Amazônicas, disponível em <http://pt.águasAmazônicas.org/águas-2/fluxos-e-inundacoes/>.

As grandezas dos números dos recursos hídricos da bacia Amazônica não se destacam apenas na dinâmica de suas águas superficiais. Abreu *et al.*, (2013), estudou a caracterização geométrica de unidades permo-porosas no âmbito das bacias sedimentares na região do estado do Acre e sob os rios Solimões, Amazonas e Marajó, que de forma conjunta cobrem uma superfície de aproximadamente 1,3 milhões de km². Sob o foco da composição volumétrica dos aquíferos subterrâneos, estimou um volume preliminar de 162.520 km³ de água distribuídos em diferentes cenários e profundidades, sob a denominação de Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA), conforme Figura 4.

O aquífero Áter do Chão, apesar de não ter a maior área de afloramento, é considerado o maior contribuinte do SAGA, com volume estimado em 86 mil km³ de água, (ANA, 2017). Na Tabela 3 é possível visualizar características dimensionais dos principais aquíferos da RH AMZ.

Figura 4 - Área de afloramento dos aquíferos da RH AMZ, com identificação dos que compõem o SAGA.



Fonte: ANA (2017).

Tabela 3 - Características dimensionais dos principais aquíferos da Amazônia.

Aquífero	Área de Afloramento (km²)	Precip. Média Anual (mm)	Recarga Potencial (m³/s)	Reserva Poten. Explorável (m³/s)
Alter do Chão	290.491	2.173	2.402	961
Barreiras	12.277	2.591	105	21
Içá	932.703	2.497	4.431	1.772
Solimões	416.986	2.315	4.285	1.714
Boa Vista	14.846	1.728	163	65
Parecis	206.425	1.854	5.340	1.068
Faturado Norte	1.384.781	2.102	3.692	1.477

Fonte: ANA (2017).

Pimentel e Hamza (2014) realizaram pesquisas a partir de análises de temperaturas de 241 poços profundos nas décadas de 1970 e 1980, na região Amazônica, constatando indícios de fluxos subterrâneos horizontais até 4 km de profundidade sob a calha do rio Amazonas, de oeste para leste, a uma velocidade de 100 m/ano, passando pelas bacias dos rios Solimões, Amazonas e Marajó, até adentrar no oceano Atlântico, contribuindo com uma vazão média de 3,1 mil m³/s, evidência da condição de um aquífero dinâmico.

As reservas subterrâneas na bacia Amazônica representam mais de 80% do total das águas que compõem seu ciclo hidrológico. As águas escoadas nos rios representam cerca de 8%, enquanto as águas atmosféricas oscilam entre 8% e 10% (ABREU, 2013).

A composição dos recursos hídricos da Amazônia a transformaram em uma enorme entidade de serviços ambientais. Em função de sua riqueza hídrica a Amazônia abriga uma enorme variedade de espécies da flora e da fauna em uma importante área de endemismo, constituindo assim, uma reserva genética de relevância mundial (PNUMA/OTCA, 2008).

A Amazônia transfere, na interação entre a floresta e os recursos hídricos, associada ao movimento de rotação da Terra, cerca de 8 trilhões de metros cúbicos de água anualmente para outras regiões da América do Sul, o que a constitui como um grande agente de benefícios hidro-ecossistêmicos em escala local e regional (PNUMA/OTCA, 2008; ABREU, 2013; NOBRE, 2014).

2.3 Os Processos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica

De modo simplificado, pode se considerar bacia hidrográfica como um sistema físico aberto que tem na precipitação a principal entrada de água, e na rede fluvial, através do exutório, a principal saída. Na bacia ocorrem todos os processos do ciclo hídrico: interceptação pela vegetação, erosão do solo, evaporação, transpiração, armazenamento da água em depressões do solo, infiltração subsuperficial e profunda (LIMA, 2008).

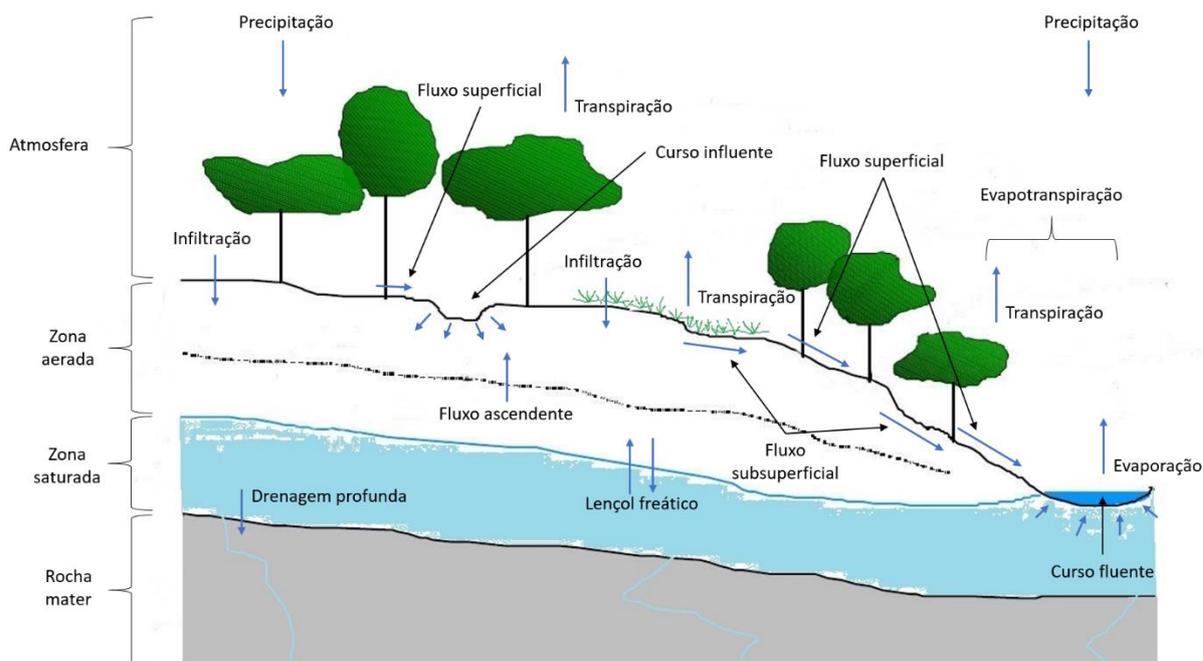
A intensidade da ocorrência de cada componente do ciclo hidrológico é diretamente relativa as características fisiográficas da bacia: relevo, topografia, cobertura vegetal, tipo de solo, geologia, presença de áreas urbanas, atividades agropecuárias ou industriais, entre outras. Nesse contexto, os subsistemas físicos

mais importantes na ocorrência dos processos hidrológicos, são: dossel das árvores, solo, área de drenagem (KOBAYAMA *et al.*, 2011).

Cada subsistema interfere de modo diferente na retenção e transporte da água, causando intervenções temporais e espaciais peculiares as suas características físicas. Por isso, cada processo deve ser bem estudado em termo de conceitos, medição, análise e modelagem (KOBAYAMA *et al.*, 2011).

A chuva, a evapotranspiração e a infiltração, são considerados processos verticais do balanço de massa, já o deflúvio, seja ele superficial ou subterrâneo, é considerado como fluxo longitudinal (TUCCI; BRAGA, 2015), exemplificado, entre outros processos, na Figura 5.

Figura 5 - Direções dos fluxos predominantes da água em sistema aberto.



Fonte: Adaptado de Rennó e Soares (2000).

A vegetação tem papel importante na interceptação e na retenção de água da chuva. Quanto maior a área de superfície de folhagem, maior a retenção da água precipitada. O volume retido evapora quando houver capacidade potencial de evaporação, que somado com a transpiração dos vegetais, fenômeno decorrente da absorção da água do solo pelas plantas, resulta-se na evapotranspiração à atmosfera (PAIVA; PAIVA, 2016).

A água que escorre pelos troncos ou goteja atravessando o dossel das árvores, identificada como precipitação interna, quando na superfície, pode escoar

longitudinalmente, seja como fluxo superficial ou subsuperficial, ou ainda, infiltrar e percolar verticalmente através dos poros, isso depende da capacidade de campo no momento, fator influenciado pelo tipo de solo e o nível de umidade do mesmo (TUCCI; BRAGA, 2015).

O escoamento superficial hortoniano, resultante da água precipitada não infiltrada no solo, por este estar saturado ou ser de baixa permeabilidade, é considerado a principal origem do pico do hidrograma, principalmente em pequenas bacias (HORTON, 1933).

Quando a intensidade da chuva é menor que a capacidade de infiltração do solo, toda a água é absorvida, não havendo escoamento superficial. A taxa do escoamento superficial hortoniano pode ser obtida através da Equação 2.

Equação 2: taxa do escoamento superficial hortoniano

$$Q = i - f$$

Onde: (Q) corresponde ao escoamento, (i) à intensidade da precipitação e (f) à capacidade de infiltração.

No balanço de água na bacia hidrográfica a água no solo pode ser entendida como em estado de armazenamento, sua temporalidade nesse subsistema depende de vários fatores. O volume infiltrado pode ser transpirado pela vegetação ou pode compor a taxa de reposição do aquífero subterrâneo. A água escoada superficialmente ou subsuperficialmente chega ao ponto mais baixo do relevo, normalmente em um talvegue, formando ou alimentando um corpo hídrico endorreico, arreico ou exorreico (TUCCI; BRAGA, 2015).

Para entender a inter-relação dessas variáveis hidrológicas faz-se o balanço hídrico (BH), resultado da quantidade de água que entra e sai da bacia hidrográfica em um determinado intervalo de tempo. Basicamente, a variação da água armazenada é igual ao somatório de todos os fluxos positivos de água menos o somatório de todos os fluxos negativos de água num determinado ponto ou região, em determinado período. A compreensão do balanço hídrico se dá com a análise dos componentes envolvidos no ciclo hidrológico (PAIVA; PAIVA, 2016).

As plantas desempenham importante papel no processo do ciclo da água, bombeando-a por meio da transpiração à atmosfera. Esse fenômeno metabólico dos

vegetais está associado aos seus processos produtivos através da fixação do carbono, ocorrência fenomenológica da fotossíntese, que se realiza principalmente através das folhas. Evidencia da relação entre o ciclo da água e a do carbono (RENNÓ *et al.*, 2000).

2.4 Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica

De acordo com o art. 8º, da lei das águas, os Planos de Recursos Hídricos serão elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País. Na gestão dos recursos hídricos, as principais relações de causa e efeito, tais como: precipitação e vazão e taxa de reposição do lençol freático, são melhores analisadas tendo como agente físico e espacial a bacia hidrográfica. Embora unidades político-geográficas devam ser consideradas, no aspecto técnico do monitoramento hidrométrico são menos representativas (PAIVA; PAIVA, 2016).

Segundo Cardona (2016) a bacia hidrográfica funciona como um receptor da água pluvial. Sua forma, a variação do seu relevo, suas características edáficas e de cobertura vegetal, somadas as condições climáticas, influenciam nas transformações dos volumes hidrométricos da água captada. Ainda segundo o autor, as propriedades fisiométricas da bacia hidrográfica podem ser classificadas basicamente em dois tipos, conforme seu efeito na ocorrência da precipitação efetiva:

- a) Propriedades que determinam o volume de escoamento, tal como a área, o tipo de solo e a interceptação vegetal;
- b) Propriedades que condicionam a velocidade da resposta hidráulica, tal como: intensidade da precipitação, forma da bacia, inclinação, ordem hierárquica da rede de drenagem e outros.

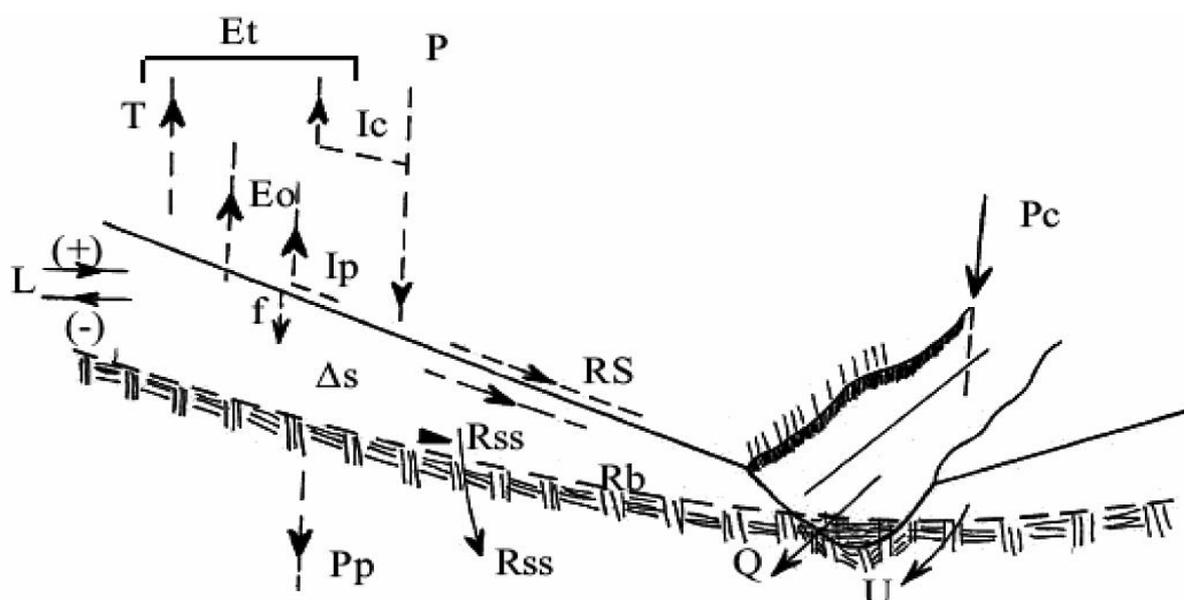
A ponderação dessas variáveis métricas é de grande valia para previsão e geração da resposta de fluxos de diferentes tamanhos, permitindo a previsão dos quantitativos expressos em estoques subterrâneos e em termos de vazões no ponto de interesse, além da incidência no transporte de sedimentos e nutrientes em todos os ecossistemas que compõem a área de captação (CHAVES, 2002).

No intuito de otimizar a gestão dos recursos hídricos nas atividades administrativas de concessão das águas para determinados fins, processo que se consolida através da outorga, há a necessidade de se conhecer a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica (BRASIL,1997). Para isso, requer-se a aplicação do

balanço hídrico e sua ocorrência em detrimento dos fatores climáticos em que a relação demanda e disponibilidade é fator praticamente decisório na manifestação favorável ou não à uma dada pretensão (KOBAYAMA *et al.*, 2011)..

Neste sentido, a hidrometria tem importância fundamental no gerenciamento de recursos hídricos, quantificando os volumes armazenados nos componentes terrestres e as quantidades transportadas de água entre eles (KOBAYAMA *et al.*, 2011). Os processos envolvidos no balanço hídrico em uma bacia hidrográfica podem ser visualizados no infográfico da Figura 6, através do esquema da secção transversal de um talvegue.

Figura 6 - Vários processos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Lima, (2008).

Os fluxos de entrada, considerados positivos, são: (P) precipitação medida em área aberta, (F) infiltração.

Os fluxos de saída, considerados negativos, são: (T) transpiração; (Ic) interceptação pelas copas; (Ip) interceptação pelo piso; (Eo) evaporação do solo e de superfícies líquidas; (Et) evapotranspiração (soma da transpiração e da evaporação); (Q) está para a vazão; (L) vazamento freático; (Pp) percolação profunda (vazamento por falhas na rocha); (Rs) escoamento superficial (em canais ou superfície); (Rss) escoamento subsuperficial; (Rb) escoamento de base (mantido pela contribuição lateral do lençol freático); (Pc) precipitação direta nos canais; (U) vazamento (água que flui de montante a jusante subsuperficialmente paralelo ao leito).

A variação da água no solo, representada por (Δs), tem sua classificação como positiva ou negativa devido a relatividade do quantitativo infiltrado em relação ao quantitativo escoado via nível de base (LIMA, 2008).

A estimativa do balanço hídrico consiste em adicionar todas as variáveis de saída de água da bacia hidrográfica, subtraindo-a pela soma das variáveis de entrada. Para um dado período, a estimativa do BH pode ser feita pelo método da equação de continuidade da massa, conforme Equação 3.

Equação 3: Balanço hídrico, método da continuidade da massa

$$P = (T + ic + Ip + Pc + Eo) + Q + \Delta S + U \pm L$$

Onde: (P) corresponde à precipitação; (T) à transpiração; (Ic) à interceptação pelo dossel; (Ip) à interceptação pelo piso; (Pc) à precipitação direta em corpos hídricos; (Eo) à evaporação do solo e lamina de água; (Q) à vazão; (Δs) à taxa de reposição do lençol freático; (U) ao vazamento subsuperficial paralelo ao leito; (L) ao vazamento ou recebimento freático de outra bacia hidrográfica,.

Em bacias hidrográficas experimentais, onde normalmente todas as variáveis de fluxos positivos e negativos são monitoradas sistematicamente, exceto evapotranspiração, que pode ser estimada de modo indireto, e onde não ocorram vazamentos freático (L) e ou vazamento transversal subsuperficial fora do leito (U) e nem perdas por percolação profunda (Pp), para um dado período, a equação 3 pode ser simplificada para a Equação 4.

Equação 4: Balanço hídrico, método simplificado

$$P = (Et - Q) \pm \Delta s$$

Onde: (P) corresponde à precipitação; (Et) à evapotranspiração; (Q) à vazão; (Δs) à taxa de reposição do lençol freático.

A evapotranspiração é o componente do BH mais difícil de se monitorar, sua variabilidade pode ser observada de maneira indireta através do balanço de massa hídrica ocorrente na bacia (LIMA, 2008).

2.5 Geração e Consistência de Dados Hidrológicos

Para se entender as variáveis hidrológicas de uma bacia são necessários uma série de estudos de elementos que a caracterizam: topografia, geologia, climatologia, análise ambiental e hídrica. Quando se trata de bacias urbanas ou rurais, o conhecimento histórico e socioeconômico, também são importantes. As informações mais difíceis estão associadas ao o clima e ao regime hidrológico. São necessários registros contínuos e de longo prazo, quanto maior o histórico e a garantia do padrão de qualidade dos dados, melhor serão os conhecimentos da bacia hidrográfica estudada (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

A obtenção desses dados requer dedicada atuação através do monitoramento *in situ*, isso devido a necessidade de referenciais visuais aplicados no processo de certificação dos mesmos, fato que torna intrínseco na metodologia, as pesquisas de campo continuada das análises de consistência feitas em escritório (WMO, 2011).

Apesar da relativa simplicidade, os processos de obtenção de dados hidrométricos: pluviometria, fluviometria, lençol freático, umidade do solo, evaporação e transpiração, podem ser afetados por erros que se acumulam ao longo das diversas etapas que englobam as medições em campo: observação, instalação correta de equipamentos, configuração de *dataloggers*, tipo de tecnologia usada, condições ambientais que influenciam no roteiro e no calendário de manutenção dos instrumentos, entre outros (WMO, 2011).

A organização e certificação dos dados requerem tratamentos e processamentos básicos para que os mesmos possam ser utilizados com confiabilidade. Dependendo do objeto de estudo que esteja sendo desenvolvido, mais análises e processamentos tornam-se necessários para diminuir, minimizar ou eliminar os possíveis erros (BERTONI; TUCCI, 2013).

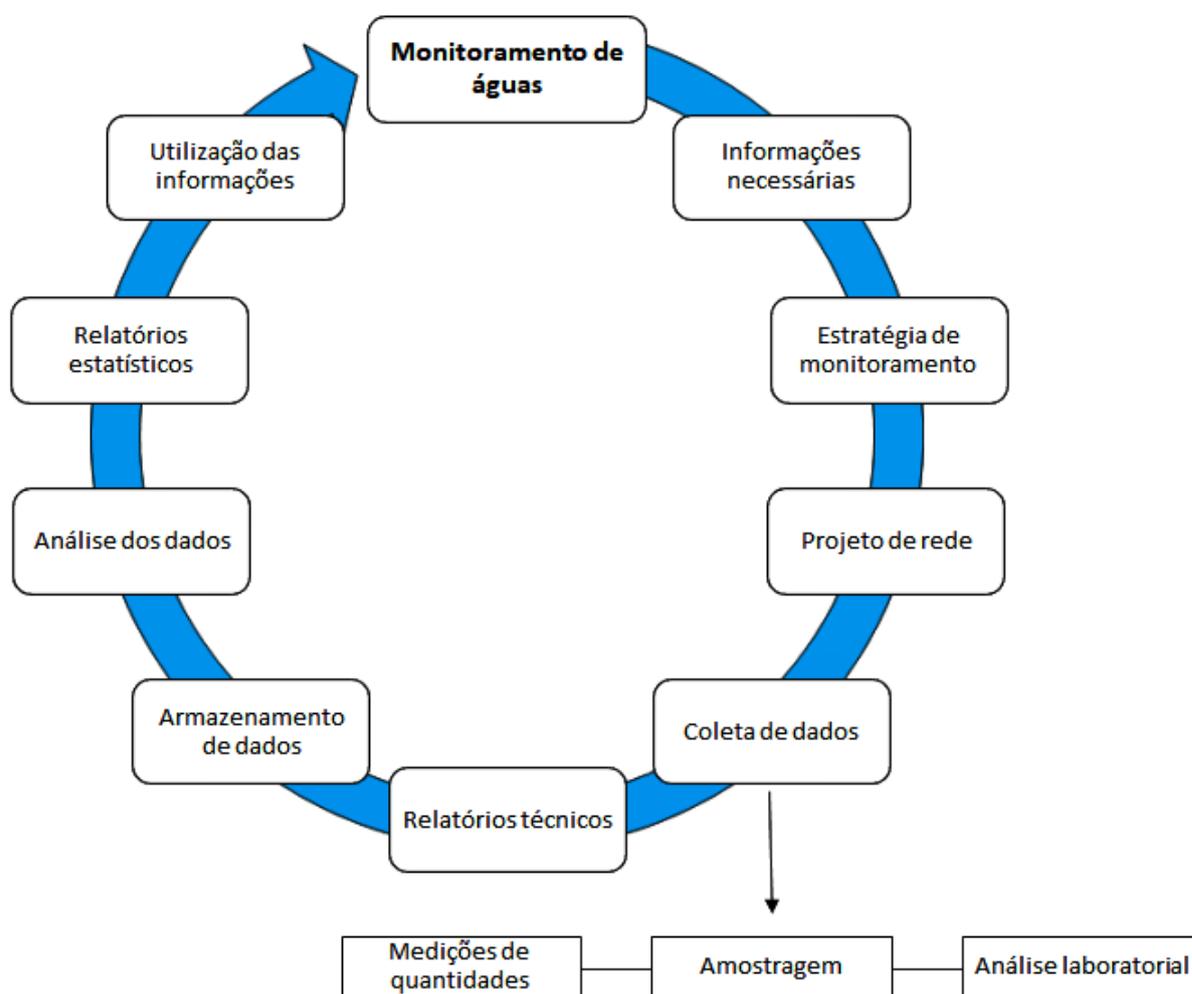
Visando a caracterização de uma base de dados sólida e homogênea, que atenda os protocolos das entidades internacionais de padronização metodológica, tal como a *World Meteorological Organization*, várias instituições de monitoramento e gestão de recursos hídricos tem otimizado seus bancos de dados através de sistemas informatizados de gestão e monitoramento (PITTIGLIANI, 2000).

O *Guide to Climatological Practices* (WMO, 2011) apresenta recomendações referentes a práticas e procedimentos que devem ser adotados para assegurar a padronização e qualidade das informações hidrometeorológicas coletadas e

disponibilizadas.

Segundo a UNESCO/WHO/UNEP (1996), o monitoramento da qualidade e quantidade da água é a base para o gerenciamento deste recurso, subsidiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos. Em consonância com esse raciocínio Uil *et al.*, (1999) sugeriu um ciclo de atividades de monitoramento de dados hidrológicos, obedecendo processos evolutivos de geração e análise de dados, conforme representação apresentada no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Ciclo de um programa de monitoramento.



Fonte: Adaptado da proposta de Uil *et al.* (1999).

O sistema de processamento e controle de qualidade dos dados deve ser bem organizado para ser compreendido pelos usuários envolvidos tanto na coleta como no processamento e no uso da variável. O uso de tecnologias e procedimentos padrões tanto em campo quanto no escritório, na fase de processamento dos dados, são

importantes para isso (PITTIGLIANI, 2000; UIL *et al.*, 1999).

Os dados, para serem úteis aos diversos tipos de usos, deverão passar por um processo de análise de consistência, onde devem ser submetidos a controles mínimos de qualidade, correções eventuais e preenchimento de falhas. O procedimento de análise é relativo a cada tipo de variável, além do tipo de equipamento ou instalação (UIL *et al.*, 1999).

Ainda segundo Uil *et al.*, (1999), a análise preliminar começa no campo, avaliando as condições e integridade das instalações e instrumentos, registrando em relatório e salvando os dados coletados de forma manual ou automática, atuando conforme padrão pré-estabelecido, fazendo a manutenção ou substituindo instalações ou instrumentos. Se necessário ou possível, instalar equipamentos para comparação de redundância dos registros.

2.6 Bacias Experimentais e Representativas

A partir do princípio do balanço de massa, a delimitação física natural de uma bacia hidrográfica a torna elemento fundamental para o estudo da fase terrestre do ciclo hidrológico (TUCCI, 2016). No entanto, a área de superfície associada a escala espacial são elementos diferenciais no comportamento hidrológico entre bacias. Mesmo que estejam em um mesmo zoneamento climático, fatores associados as condições fisiográficas, estratigráficas e do tipo de cobertura do solo dão a cada bacia uma identidade própria (GOLDENFUM, 2016).

A complexidade do monitoramento e compreensão da dinâmica hidráulica das bacias hidrográficas levantam divergências entre estudiosos quanto a classificação delas em tamanhos e objetivos de estudos. Devido a isso, não existem critérios de enquadramento estabelecidos que sejam reconhecidos pelas comunidades científicas (MOTA, 2012). As definições variam de acordo com o ramo da ciência e o objetivo do monitoramento, seguem exemplos:

Rocha e Kurtz (2001); Mota (2012) baseados em cartas cartográficas de escala de 1:50.000, definiram o conceito de microbacia como aquelas que tivessem até 200 km² de área, isso, sob a perspectiva de desempenho técnico de atividades de reflorestamento.

Nos Estados Unidos, a histórica bacia experimental de *Little Washita*, em Oklahoma, monitorada pela USGS (*United States Geological Survey*), implementada

em 1936 com interesse hidrometeorológico, possui área de 611 km², enquanto a bacia experimental de *Riesel*, no Texas, também monitorada pela USGS, tem área de 3,4 km² e o seu principal objetivo é a coleta de variáveis para balanço hídrico (VILLAS BOAS, 2018).

Os recorrentes debates sobre o conceito de bacia hidrográfica nos vários ramos da ciência, assim como pelas entidades gestoras de recursos hídricos, está associado ao reconhecimento desse espaço como elemento natural influente nos recursos naturais, a exemplo da lei 9.433/1997, alterada pela Lei 9.984/2000, que através da PNRH, define a bacia hidrográfica como unidade de monitoramento e gerenciamento dos estoques de água (BRASIL, 1997).

Embora entendam-se as complexidades que se envolvem nessas definições, alguns pesquisadores, no interesse hidrológico, sugerem critérios básicos para caracterizarem pequenas bacias. Goldenfum (2016), citando Ponce (1989), aponta as propriedades abaixo como elementos base de caracterização de área de captação e convergência fluvial da água pluvial como pequena bacia hidrográfica:

- a) A chuva é distribuída uniformemente no tempo;
- b) A chuva é distribuída uniformemente no espaço;
- c) A duração da chuva geralmente excede o tempo de concentração;
- d) O principal componente do escoamento é o superficial (hortoniano);
- e) Os processos de armazenamento no canal são desprezíveis.

No interesse da engenharia hidráulica, as características acima podem identificar bacias como pequenas sem considerar sua escala espacial como referência direta. Essa linha de pensamento está em consonância com o raciocínio de Strahler (1964), quando ele propôs a hierarquização dos canais formadores da área de drenagem da bacia sem considerar para isso o tamanho da área e sim o número de ordenamento (MOSCA, 2003).

Indiferente da área de interesse, é reconhecido que a pequena bacia hidrográfica, sendo ela a subdivisão de grandes bacias e por estas estarem interligadas, facilita o diagnóstico e o monitoramento hidrológico, visto que isto permite a descrição da inteiração entre cada um dos elementos em estudo sob a correlação das análises de quantidade e qualidade da água (MORAES, 2016).

Nesse contexto se fundamentam as Bacias Experimentais, sendo estas instrumentalmente preparadas para o desenvolvimento de investigações hidrológicas nos mais diversos interesses. Já as Bacias Representativas, são identificadas como

aquelas que apresentam características edáficas, botânicas e meteorológicas homogêneas, com indicadores fisiográficos uniformes, tendo como principal finalidade o monitoramento sistemático dos seus componentes hidrológicos no afimco de gerar séries de longo prazo, fomentando banco de dados para análises comportamentais do sistema hidroclimático do sitio e de região compatível por meio da extrapolação de dados (TOEBES; OURYVAEV, 1970; GOLDENFUM, 2016).

As bacias experimentais e representativas são instrumentos indispensáveis para o desenvolvimento do conhecimento hidrológico de uma região. São contempladas por técnicos e pesquisadores como ferramenta da qual através de uma perspectiva sistemática que incorpora os efeitos das mudanças de cobertura e uso do solo, permitindo relacionar e hierarquizar a influência dos diferentes fatores que intervêm no ciclo hidrológico (GARCIA-RUIZ; GALLART, 1997).

Mosca (2003), que estudou os trabalhos de Moldan e Cerny (1807), relata que eles já observavam processos hidrológicos em áreas sob o conceito de microbacia hidrográfica experimental, onde a viabilidade se dava pelas características de homogeneidade mínima necessária para inferir pesquisas.

Ainda segundo o autor, na Suécia já havia pesquisas hidrométricas em microbacias experimentais em 1899, assim como Japão, quando iniciaram estudos em 8 bacias experimentais de diferentes ocupações do solo em 1906. Segundo o autor, o objetivo foi monitorar a variação dos componentes hidráulicos em decorrência de desmatamento.

Nos Estados Unidos, em meados de 1927, problemas com inundações em áreas povoadas nas margens do rio Mississipi implicaram da parte do Departamento de Agricultura da época, a realização de estudos de monitoramento hidrométrico dos afluentes do referido rio. O objetivo era antever a ocorrência das enchentes por meio do comportamento hidrológico das bacias menores (ARCOVA, 1996).

Trancoso (2006), em sua revisão bibliográfica, cita Bates e Henry (1928) mencionando estudos realizados em de 1910 no estado do Colorado - EUA, onde bacias de coberturas vegetais diferenciadas foram instrumentadas no escopo de análises de pareamento de dados.

Após vários estudos em bacias experimentais, os resultados de aumento de produção de água em áreas desmatadas e as variações da dinâmica hidrológica em função do tipo de cobertura vegetal e sua área foliar, promoveram o desenvolvimento

de pesquisas em bacias experimentais em outras regiões dos Estados Unidos (EUA) (TRANCOSO, 2006).

No fim da década de 60 Hibbert (1967) publicou uma revisão com 39 microbacias pareadas. Stednick (1996) utilizou 95 experimentos pareados para avaliar os efeitos da exploração florestal na produção de água.

Mota (2012) relata o quanto as pesquisas em bacias experimentais em todo mundo renderam avanços não só para as ciências hidrológicas mas também para o entendimento de processos físicos, biológicos e químicos envolvidos na ecologia de bacias e manejo florestal, conforme os trabalhos de Sahin e Hall (1996), que revisaram 145 experimentos com microbacias em diversas regiões do mundo, agrupando 6 diferentes tipos de vegetação, propondo relações entre a resposta hidrológica das bacias e o percentual da área desflorestada para os tipos de vegetação.

Andreássian (2004) também analisou 137 experimentos, pareando os dados de 115 bacias em desflorestamento e 22 de reflorestamento. Nesse mesmo enfoque Brown *et al.*, (2005) atualizaram o número de microbacias experimentais para 166 (TRANCOSO, 2006).

O Século XX foi um período de notabilidade pelos inúmeros avanços de pesquisas hidrológicas em bacias experimentais. Isso se evidenciou a partir de 1965 quando a UNESCO agenciou no âmbito do ³Decênio Hidrológico Internacional várias atividades na área da hidrologia em todo o mundo. Tinha entre seus escopos a discussão de estratégias e técnicas de fomento à pesquisa científica, além do inventário dos recursos de água doce no planeta, aumentando a importância da água na agenda da política Global. Um dos instrumentos proposto pelo programa aos países signatários foi a implementação de bacias experimentais em seus territórios (TOEBES; OURYVAEV, 1970; UNESCO, 2017).

No Brasil, segundo esta revisão, os primeiros trabalhos em bacias experimentais iniciaram no final da década de 1970. Na região Amazônica, as bacias experimentais foram implementadas em estações de pesquisas do INPA pelos pesquisadores Nortcliff & Thornes (1978). No semiárido nordestino as pesquisas em bacias experimentais ocorreram com a participação da entidade francesa ORSTOM - *Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer*, atual IRD – *Institut de*

³ Período de dez anos, 1965-1974, de intensa atividade hidrológica internacional, iniciado e patrocinado pela UNESCO em colaboração com outras agências das Nações Unidas. Atualmente, em sua oitava fase, é conhecido como Programa Hidrológico Internacional, (UNESCO, 2016)

Recherche pour le Développement, juntamente com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (ALVERGA, 2016).

Segundo Toledo (1996), o estado de Santa Catarina adotou em 1984 a pequena bacia como unidade de atuação para conservação e recuperação de solos agrícolas, isso, com o objetivo de prevenir inundações.

Em 1987 o Governo Federal do Brasil, através do Ministério da Agricultura, criou o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH) por meio do Decreto-Lei nº 94.076, de 05 de março de 1987. O objetivo era promover a ocupação planejada e racional do espaço rural sob o conceito de preservação ambiental, mitigando a evasão rural para os centros urbanos e mantendo o escopo de alcançar o desenvolvimento ambiental e econômico da produção agrícola. O PNMH envolveu vários seguimentos do agronegócio da época. O programa não durou muito devido restrições financeiras (TOLEDO, 1996).

Embora o PNMH tenha durado pouco alguns estados do Brasil criaram Programas que adotaram a continuidade das práticas de manejo de pequenas bacias, São Paulo e Paraná, por exemplo. O fato de não ter sido elaborado como instrumento ao interesse das pesquisas prioritariamente hidrológicas, como já ocorria em outros países, e sim atuar dentro do conceito de preservação e conservação ambiental no âmbito agrário, incorporou a bacia hidrográfica, através das Ciências Ambientais, como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais (TOLEDO, 1996; MENEGUZZO 2006).

A implementação de bacias experimentais com escopo científico teve relativo aumento em meados de 1990, quando grupos de pesquisas de universidades e de instituições de pesquisas das regiões Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil, começaram a implementar bacias experimentais com apoio de entidades internacionais. Nessa época destacou-se a região Nordeste, onde pesquisadores de universidades e entidades de monitoramento hidrológico criaram em 2001 a Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), atualmente com 8 bacias experimentais ativas (ALMEIDA, 2015; ALVERGA, 2016).

As redes de bacias experimentais ou representativas podem conceber uma área ampliada de pesquisa, é uma estratégia de conciliar informações hidroclimáticas, comparando-as no interesse da evolução compreensiva dos fenômenos hidrometeorológicos. Essa pratica possibilita a modelagem dos dados com maior precisão e representatividade em variadas escalas (PAIVA; PAIVA, 2016).

Países europeus, para otimizar as análises dos dados de suas bacias experimentais, criaram a rede ERB (*Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins*), composta por sítios de pesquisas de 22 países (ALMEIDA, 2015).

As regiões de florestas tropicais, apesar de serem as mais abundantes em fauna, flora e recursos hídricos no planeta, carecem de estudos hidrológicos que aglutinem maior compreensão e representatividade dessas regiões na hidrologia global (TRANCOSO, 2006; TOMASELLA, 2013; NGEE-TROPICS, 2014).

Goldenfum (2016) aponta o Brasil como carente de dados monitorados em bacias experimentais. O autor argumenta que essa realidade pode estar relacionada ao fato de que as investigações hidrológicas no país sempre estiveram pertinentes ao setor hidroelétrico, principal agente histórico de monitoramento hidrométrico em grandes rios do Brasil.

2.6.1 Bacias Experimentais e Representativas na Amazônia

O plano científico da segunda fase do programa LBA aponta a pesquisa de hidrologia de superfície como componente fundamental para as análises comportamentais do ecossistema Amazônico (LBA, 2007). Nas regiões da Amazônia, principalmente na região central, já foram feitos trabalhos de observação e monitoração de dados hidrológicos em pequenas bacias, segue um *background* de alguns trabalhos e autores.

Os primeiros trabalhos de pesquisas hidrológicas em bacias experimentais na Amazônia começaram em 1976 com os pesquisadores Nortcliff & Thornes (1978) e Leopoldo *et al.*, (1981), na bacia do Igarapé Barro Branco, de 1,3 km², na reserva Adolpho Ducke. Os pesquisadores atuaram principalmente em estudos qualitativos associados aos ciclos biogeoquímicos e em análises da dinâmica hidráulica da bacia.

No início da década de 1980, Franken e Leopoldo (1984) estenderam a área espacial de suas pesquisas instrumentando uma sub-bacia de 23,5 km² da cabeceira do rio Tarumã Açu, localizada na reserva ZF2, cerca de 40 km de distância a noroeste da bacia do Igarapé do Barro Branco. Essa bacia experimental foi identificada como Bacia Modelo. As pesquisas se concentraram principalmente em hidrometria e transporte de sedimentos, ocorreram intensivamente entre 1983 a 1987 rendendo

diversos artigos de pareamento de variáveis pluviométricas, estimativa de evapotranspiração e de análises de interceptação pluviométrica pela floresta. Após esse período houveram trabalhos de campanhas mais curtas (LEOPOLDO *et al.*, 1982, 1984, 1985, 1995; MARQUES; FERREIRA, 2009).

Em Roraima, norte da Amazônia, Ross *et al.*, (1990) e Nortcliff *et al.*, (1990) exibiram trabalhos do Maracá *Rainforest Project* abordando resultados da dinâmica hídrica em uma bacia na ilha de Maracá.

Hodnett *et al.*, (1996a, 1996b, 1997); Tomasella e Hodnett (1996) também publicaram resultados de uma bacia identificada como Fazenda Colosso, sendo ela de primeira ordem e com área de 1,22 km² onde a floresta foi substituída por pastagem.

Em Rondônia, sudoeste da Amazônia, Elsenbeer *et al.*, (1999) analisaram as variações de condutividade da água em solos saturados, além das implicações da mudança de uso da terra e cobertura vegetal na geração de escoamento superficial.

Elsenbeer e Vertessy (2000) estudaram dados gerados em uma microbacia da Amazônia ocidental identificada como *La Cuenca*, próxima a Cordilheira dos Andes, no Peru. Investigaram a relação do escoamento com a biofísica florestal e a topografia da área de captação, onde a rede hidrográfica era de primeira ordem.

Também no ano de 2000 a bacia experimental do Igarapé Asu (BEIA), anunciada por Tomasella *et al.*, (2007) como de 2º ordem, foi ativada e constituída como parte do sitio hidrometeorológico do Programa LBA na Reserva Florestal ZF2, na Amazônia Central.

Com o objetivo de parear os dados obtidos na microbacia da Fazenda Colosso, foi implementada outra bacia experimental na reserva ZF2, do INPA, à cerca de 40 km a sudoeste da bacia da Fazenda Colosso. A área da nova bacia experimental foi estimada em 1,16 km², porém, com floresta preservada. Essa bacia foi identificada como Asu 1 e passou a fazer parte do sitio de estudos hidrológicos do Programa LBA (TRANCOSO, 2006).

Segundo Tomasella (2016), em informação pessoal, os pareamentos dos dados dos sitio da Fazenda Colosso e do Asu 1 foram limitados devido incompatibilidades nos fluxos dos volumes de continuidade de massa na bacia experimental da Fazenda Colosso. A análise do balanço hídrico, associado à análise geológica da área, sugeriram a existência de diferenças nos divisores hidrográficos e hidrológicos, gerando perda de água para a bacia ao lado.

Tomasella *et al.*, (2007) em parceria com o Programa LBA, desenvolveram

pesquisas em bacias experimentais entre os anos 2001 e 2007. Publicaram vários artigos abordando a relação das variações no balanço hídrico condicionado as diferentes situações climáticas, além da ocupação do solo das bacias monitoradas.

Em meados de 2005, visando avaliar o desempenho do modelo DHSVM (*Distributed Hydrology Soil Vegetation Model's*) para a região tropical, em área de floresta da Amazônia Central, Cuartas *et al.*, (2012) aumentou o monitoramento fluvial do Igarapé Asu até 3º ordem, ampliando a representatividade em escala espacial dos dados para serem usados na calibração do supracitado programa de modelagem. A autora usou ferramentas de sensoriamento remoto de base SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), editados para células de 30 m de lado para desenvolvimento do Modelo Digital de Elevação (MDE) e HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), para normalização da superfície de drenagem.

Os resultados, segundo a autora, indicaram que o modelo DHSVM, devidamente calibrado, é aplicável a ambientes de florestas tropicais, embora tenha sido desenvolvido para climas temperados de bacias montanhosas com solo raso (CUARTAS *et al.*, 2012).

Rodrigues e Tomasella (2013) usaram o Modelo Hidrológico Distribuído (MHD), do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), para simular o impacto do uso do solo e da cobertura da terra no processo de geração de escoamento e como eles estão relacionados à topografia da bacia de Ji-Paraná, em Rondônia, de aproximadamente 30.000 km². Esse trabalho se evidencia como o único revisado nesta bibliografia que aborda diretamente a metodologia de extrapolação de processos hidrológicos locais para modelos de macroescala. Como base de dados para lançamento no modelo foram usados registros de uma pequena bacia.

Pesquisas realizadas por Nóbrega *et al.*, (2018) em bacias de pequenos ordenamentos hidrográficos localizados nos biomas Amazônico e Cerrado das zonas de desmatamento ativo da fronteira agrícola da Amazônia, geraram dados que permitiram, por parte do pesquisador, a conclusão de que a conversão de paisagens naturais em pastagens aumenta os fluxos de carbono e nutrientes através do dreno fluvial em ambos os biomas. Ele enfatiza que esses resultados demonstram que as avaliações dos impactos do desmatamento nos biomas estudados também devem levar em consideração as vazões imediatas de precipitações excedentes, no entanto, isso só pode ser alcançado com a coleta de dados temporais de alta resolução.

Os esclarecimentos e entendimentos obtidos através dos estudos efetuados nas várias bacias monitoradas na Amazônia, principalmente nas bacias em rede, estudadas pelo LBA, podem ser analisados pelos resultados dos componentes do BH.

Sobre os mecanismos da geração do escoamento superficial nas bacias consultadas, Tomasella (2013) informa que o aumento do deflúvio em bacias antropizadas está diretamente relacionado com a cobertura vegetal. A substituição da formação florestal pela pastagem expõe o solo à sua capacidade de percolação, isso devido a menor ocorrência de retenção da precipitação pelo dossel das árvores, assim como, o menor bombeamento da água do solo pelo fenômeno da transpiração dos vegetais, menos eficiente em gramíneas. A consequência é a promoção do aumento do fluxo hortoniano (ocasionado por precipitação que excede a capacidade de infiltração do solo), que pode comprometer a estrutura do mesmo, por suas características, aumentando o escoamento nas áreas de drenagem. Essa situação, também foi observada e advertida por Leopoldo *et al.*, (1982).

Quanto ao principal modo de escoamento, Tomasella (2013) indica que a ocorrência mais frequente de deflúvio é o escoamento superficial por saturação (água precipitada, que não infiltra no solo, devido este já estar saturado). Segundo o autor, esse efeito está diretamente associado com o formato fisiográfico e estratigráfico do relevo. No caso da Amazônia Central, os vales são caracterizados por planícies próximas da zona freática, as áreas de fundo de vale permanecem com o solo saturado a maior parte do tempo, a água precipitada nesses locais escorre diretamente para a área de drenagem.

Os trabalhos também evidenciam a importância do papel do sistema de água subterrânea, apontando que o fluxo de base é fundamental para a estabilidade do escoamento, principalmente nos períodos de menor incidência pluvial. Essa observação ficou mais bem evidenciada em bacias menores e de florestas preservadas estudadas por Chauvel *et al.*, (1987a;1987b). Os resultados publicados, também destacam a necessidade de melhorar a representatividade regional das bacias, aumentando as pesquisas comparativas, aquelas que são aplicadas em bacias experimentais de mesma região, porém, sob condições de uso do solo diferenciadas.

Para Marques *et al.*, (2009), há uma clara necessidade de modelos hidrológicos mais detalhados, que permitam a análise da dinâmica do ciclo hidrológico em escalas temporal e espacial maiores, aptos a representar as interações não lineares entre

fragmentos terrestres e variação climática.

Rodriguez e Tomasella (2010), enfatizam a necessidade de implantação de pesquisas em bacias de mesoescala, o que favoreceria as equações de transferência dos processos hidrológicos locais para maiores bacias, melhorando a representatividade dos modelos hidrológicos.

A falta de informação detalhada sobre o impacto das mudanças de uso da terra e cobertura vegetal no funcionamento hidrológico da Amazônia e sua cobertura geográfica esparsa, compromete as tomadas de decisões quanto ao manejo ecológico e econômico dos seus recursos naturais (NÓBREGA et al., 2018).

Tomasella *et al.*, (2007) afirmam que embora a estimativa do BH seja útil, apresenta diversas dificuldades decorrentes da obtenção de seus parâmetros, pois requer sistemática verificação dos seus componentes. Os resultados destes componentes estão sujeitos a variabilidade espacial e temporal, assim como, a disponibilidade de informações.

CAPITULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

3.1.1 Reserva do Cuieiras e a Bacia do Rio Cuieiras

A Bacia Experimental do Igarapé Asu está localizada à cerca de 58 km em linha reta ao noroeste da cidade de Manaus, na Reserva do Cuieiras, onde está instalado o sitio experimental do Programa LBA. Seu acesso se dá via BR 174, km 50 de Manaus, vicinal esquerda por mais 34 km até a base do Programa LBA. As coordenadas geodésicas da BEIA são as seguintes: Latitude $-02^{\circ} 36' 30,9''$ e Longitude $-60^{\circ} 12' 30,6''$.

A Reserva do Cuieiras, também conhecida como ZF2 devido estar no Distrito Agropecuário da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), dentro da região metropolitana, tem área estimada em 23,329 ha e está sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), sendo administrada pela Divisão de Suporte as Estações e Reservas (DISER) (LBA, 2007; INPA, 2018).

De acordo com Higuchi et al., (1998), a vegetação da Reserva do Cuieiras não apresenta indícios antrópicos, tratando-se de uma área não perturbada, com vegetação tropical úmida, densa e madura de terras baixas, variável conforme a topografia e a condição edáfica. A flora pode ser caracterizada como típica da região Central da Amazônia, com grande diversidade de espécies lenhosas e herbáceas (HIGUCHI et al., 2004).

A condição preservada da Reserva do Cuieiras a torna num dos sítios experimentais mais importantes da Amazônia. Conta com três bases de apoio as várias linhas de pesquisas do INPA e entidades parceiras, a destaque:

- a) Estudos ecológicos e botânicos voltados ao manejo florestal sustentável, sob atenção do Laboratório de Manejo Florestal (LMF);
- b) Pesquisas hidrológicas e micrometeorológicas no interesse da relação biosfera - atmosfera da Amazônia, sob atenção do Programa LBA;
- c) Turismo científico e capacitações voltadas para a observação, conservação da biodiversidade Amazônica e a valorização da cultura tradicional, sob atenção do Projeto Museu na Floresta.

As águas superficiais da Reserva do Cuieiras escoam para duas sub-bacias da bacia do Rio Negro, sendo:

- a) Bacia do Rio Cuieiras, com área aproximada de 3.399,7 km², onde estão cerca de 15.168 ha (65%) do território da Reserva;
- b) Bacia do Tarumã Açú, com cerca de 1.349,6 km², tem 8.161 ha (35%) da área da Reserva do Cuieiras.

Na Figura 8 apresenta-se o mapa de situação da Reserva do Cuieiras evidenciando as dimensões e formatos das bacias hidrográficas por onde escoam suas águas. Com objetivo de proporcionar uma melhor analogia espacial dos territórios que compõem a localização do sítio da BEIA a Tabela 4 apresenta as áreas das bacias e da Reserva do Cuieiras com suas devidas correlações espaciais em percentuais tendo como referência a Bacia Hidrográfica Amazônica (BHAMZ).

Figura 8 - Situação da Reserva do Cuieiras dentro das bacias do Rio Cuieiras e do Rio Tarumã Açú, com destaque para a posição das bases de apoio do INPA.

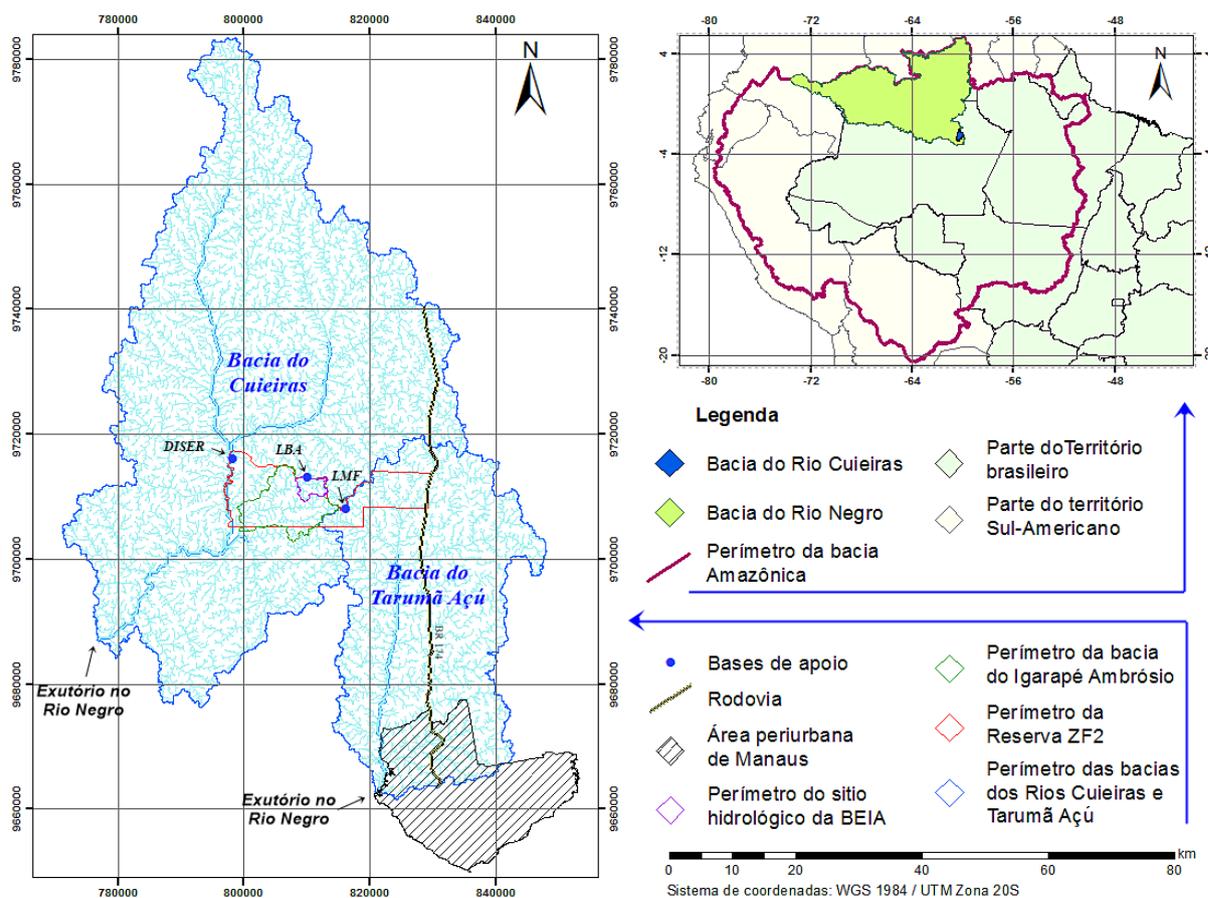


Tabela 4 - Matriz de áreas das bacias e da reserva do Cuieiras com suas correlações em percentuais, tendo como referência a Bacia Hidrográfica Amazônica.

Id da área	Área (km²)							
Bacia Amazônica	6.110.000,0	Bacia Amazônica						
Bacia do Rio Negro	600.000,0	9,81996 %	Bacia do Rio Negro					
Bacia do Rio Cuieiras	3.399,7	0,05564 %	0,56661 %	Bacia do Rio Cuieiras				
Bacia do Rio Tarumã Açú	1.349,6	0,02208 %	0,22493 %	39,69785 %	Bacia do Rio Tarumã Açú			
Reserva do Cuieiras	233,3	0,00381 %	0,03888 %	6,86211 %	17,28586 %	Reserva do Cuieiras		
Bacia do Igarapé Ambrósio	105,9	0,00173 %	0,01765 %	3,11588 %	7,84899 %	45,40700 %	Bacia do Igarapé Ambrósio	
BEIA – Três Seções	13,3	0,00021 %	0,00221 %	0,39003 %	0,98251 %	5,68391 %	12,51770 %	BEIA – Três Seções

Fonte: Área da Bacia Hidrográfica Amazônica: ANA (2017); Área da Bacia Hidrográfica do Rio Negro: Franzinelli, E. (2011).

Segundo o Plano de Gestão do Parque Estadual do Rio Negro Setor Sul, do Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), as sub-bacias da bacia do Rio Cuieiras são caracterizadas por platôs tabulares de superfícies suavizadas com altitudes de até 150 m. Já suas planícies, com mínima de 40 m de altitude, evidenciam áreas aluvionares que passam de algumas centenas de metros de largura e extensão. Essa condição revela uma morfologia típica de planície sedimentar com canais fluviais e lagos de variadas conformações. Cada um destes espaços determina distintos ambientes de sedimentação, e por consequência, diferentes materiais originados que ao longo do tempo passam a caracterizar também a vegetação (IPÊ 2010).

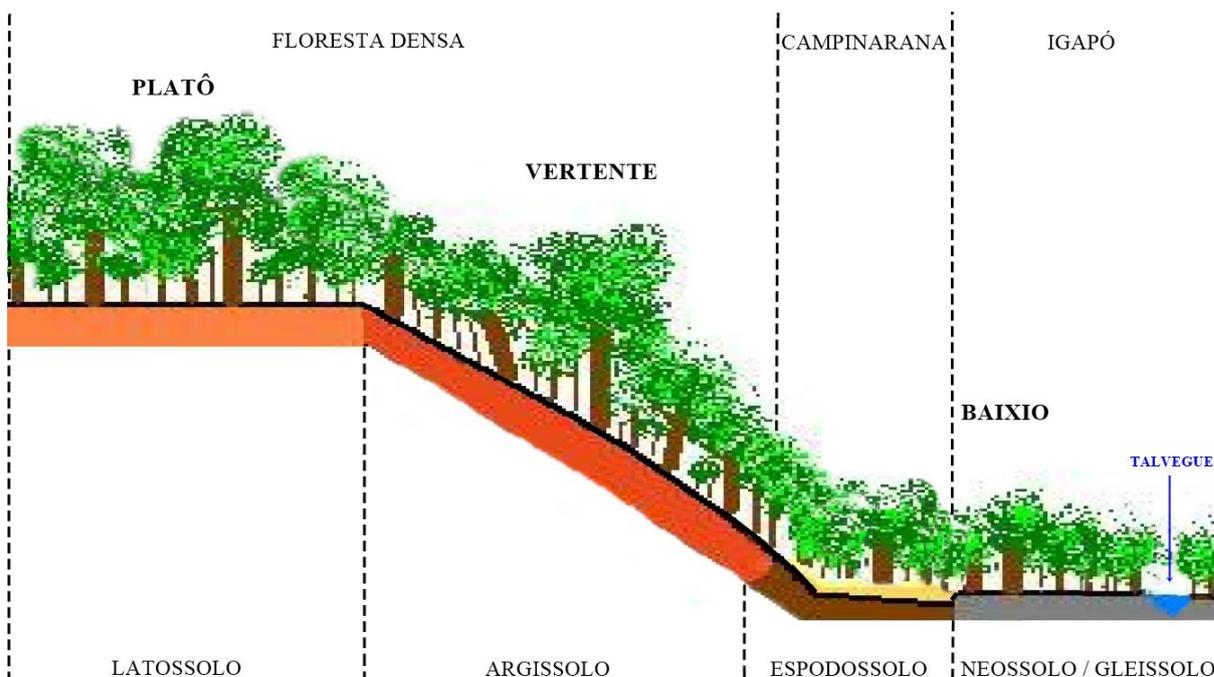
Em estudos de inventário botânico realizados pelo Grupo de Pesquisas do LMF em transectos que atravessam os gradientes topográficos da área de drenagem da BEIA, identificados como Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO), onde variáveis botânicas são monitoradas desde 1996, foram identificadas 879 espécies pertencentes a 61 famílias botânicas, sendo dez delas responsáveis por aproximadamente 75,5% da população, a saber: *Fabaceae*, *Lecythidaceae*, *Sapotaceae*, *Burseraceae*, *Chrysobalanaceae*, *Euphorbiaceae*, *Lauraceae*, *Moraceae*, *Myristicaceae* e *Annonaceae* (CARNEIRO 2004; SOUZA 2016). A elevada quantidade de espécies está associada a grande heterogeneidade ambiental representada pela variação topográfica, edáfica e disponibilidade hídrica (SOUZA, 2016).

No platô, com média de 1,500 árvores de DAP < 5 cm por hectare, a vegetação se caracteriza por menor densidade e maior estatura, onde a altura mediana do dossel está entre 30 m e 35 m. Na vertente a altura média do dossel é 25 m, a densidade de árvores com DAP < 5 cm é de 2,500 / ha, porém com menor biomassa que no platô. Na planície, a vegetação intermediária entre a zona alagada e a encosta é identificada como Campinarana, esta se evidencia pela predominância de palmeiras, arbustos e herbáceas. Nas áreas mais próximas dos talwegues, nas zonas de aluviões, formam-se igapós mantidos substancialmente pelo nível de base do lençol freático. Nessas zonas a vegetação tem menor densidade e menor estatura, com altura média do dossel em 22 m (TOMASELLA *et al.*, 2007; IPÊ, 2010).

Os latossolos amarelos são predominantes nas áreas de platô, enquanto nas vertentes os argissolos se destacam. No baixio os solos variam conforme o distanciamento da encosta, sendo os espodossolos presentes nas áreas de acumulação secundária de perfis arenosos, e os neossolos e gleissolos os que se

assentam em áreas hidromórficas (IPÊ, 2010). A figura 9 exemplifica a típica topossequência edáfica estrutura botânica das sub-bacias do Rio Cuieiras.

Figura 9 - Caracterização da topossequência típica das sub-bacias da bacia do Rio Cuieiras, com os principais de tipos de solo.



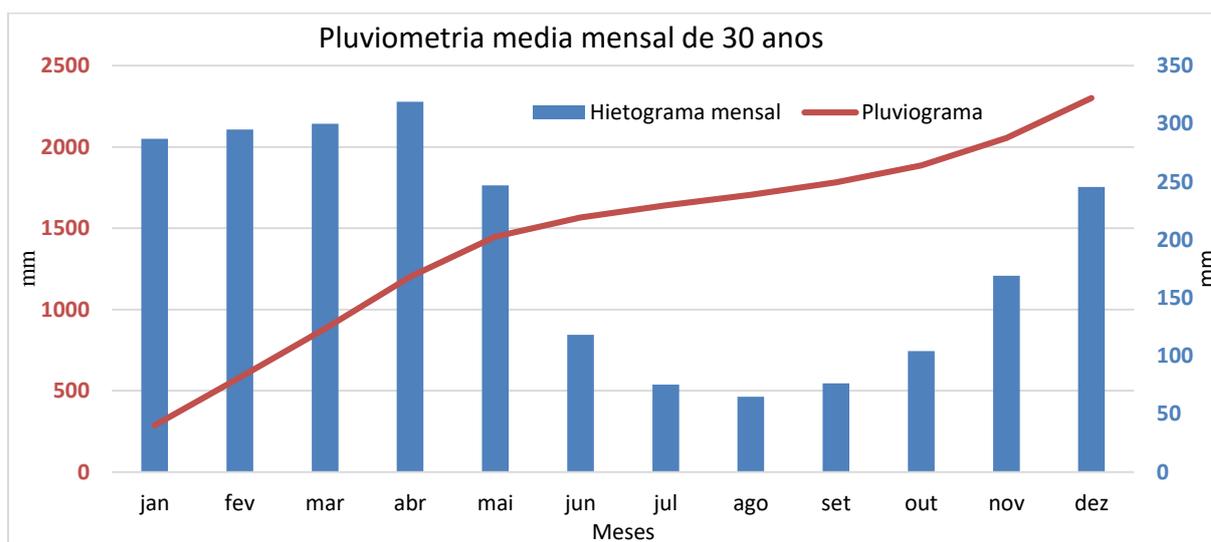
Fonte: Adaptado de Trancoso (2006) e IPE (2010).

Na BEIA os solos são geralmente argilosos na superfície, 65 – 75% até 30 cm de profundidade, e muito argiloso a partir de cerca de 1 m de profundidade, 80% – 90%. A matriz original é composta por sedimentos terciários do grupo Barreiras, constituída de caulinita, quartzo, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (IPÊ 2010). Essa estrutura fomenta condições ácidas com os maiores valores de cargas negativas nas áreas mais baixas do gradiente topográfico, onde a hidromorfia se evidencia com o nível freático alto e a presença das calhas de drenagem (TOMASELLA *et al.*, 2007). Esses solos apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e soma de bases, consequentemente, baixa fertilidade natural (SOUZA, 2016).

O clima, conforme classificação de Köppen, é caracterizado como equatorial quente e úmido com precipitação anual variando entre 1800 mm e 2800 mm, tendo duas épocas distintas no ano, sendo: a) uma estação de menor precipitação que ocorre entre julho a meados de novembro, sendo geralmente agosto o mês com a menor incidência pluviométrica; b) uma estação chuvosa que ocorre entre dezembro e junho, com maior pluviometria entre março e maio (TOMASELLA *et al.*, 2007). Os

normais pluviométricos baseados em dados históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) coletados na cidade de Manaus, e que caracterizam o regime pluviométrico dessa região, estão apresentados na Figura 10.

Figura 10: Normais pluviométricos mensais da região de Manaus baseados em dados monitorados entre 1981 e 2010.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, via <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>

A temperatura média anual em área de floresta é 26,7 °C, sendo mínima de 19°C e máxima de 39°C. A umidade relativa do ar varia de 77% a 88%, com média anual de 84% (LEOPOLDO *et al.*, 1982; TRANCOSO, 2006).

3.1.2 Seções de Monitoramento Hidrológico da BEIA

Apesar de ser identificado como Igarapé Asu nas dezenas de publicações científicas que abarcam temas relacionados ao bioma Amazônico que tiveram como área de estudos o sitio experimental do Programa LBA, no banco de dados do SNIRH o referido curso d'água é identificado como Igarapé Ambrósio. Este Trabalho mantém a assimilação nominal adotada nas referências revisadas entendendo que a identificação "Asu" se refere a área de estudos hidrológicos do Programa LBA.

A BEIA é coberta por floresta preservada e madura em toda sua área de drenagem, sendo caracterizada pela topografia que estabelece principalmente a altura e a densidade de árvores (TRANCOSO, 2006). Suas águas drenam pela Bacia do Igarapé Ambrósio por aproximadamente 20 km até a foz de 3° ordem no Rio Cuieiras

a uma altitude aproximada de 29 m. As águas do Rio Cuieiras desaguam na margem esquerda do Rio Negro à cerca de 85 km antes do encontro com o Rio Solimões, ocasião da formação do Rio Amazonas.

O Igarapé Asu é monitorado por aproximadamente 5 km a partir de sua nascente, perfazendo uma superfície de drenagem de cerca de 13,2 km². Essa área foi dividida em três Seções hidrográficas definidas por seus pontos de monitoramento fluviométrico, conforme as linhas das pesquisas históricas que as implementaram. Para definição das Seções considerou-se a hierarquia de drenagem, conforme proposta de Strahler (1964). Abaixo, informações das áreas e do ordenamento de drenagem das Seções, conforme análise do MDEHC desenvolvido para este Trabalho.

a) Seção 1: Sub-bacia mais elevada da BEIA. O lençol freático aflora em altitude aproximada de 90 m mantendo um curso hídrico de 1º ordem por cerca de 500 m até confluência com um tributário, quando passa a ser de 2º ordem ainda dentro da sub-bacia.

Embora a sub-bacia tenha cerca de 1 km², a área de captação definida pela posição da Estação Fluviométrica é de 0,81 km². Esta Seção foi ativada em 2005 pelo acadêmico Ralph Trancoso para experiência e análise de dados pareados com outra bacia de diferente cobertura vegetal (TRANCOSO, 2006).

b) Seção 2: Bacia cuja a Seção 1 está inserida. Conta com 5 tributários até a Estação Fluviométrica de aproximadamente 52 m de altitude. O curso de 2º ordem é drenado em uma superfície aproximada de 6,31 km². Tem dados coletados dès do ano 2000 (TOMASELLA *et al.*, 2007).

c) Seção 3: Bacia sequencial da Seção 2, nela a investigação se intensifica basicamente na dinâmica fluviométrica de 3º ordem, podendo ser considerada como Bacia Elementar, conforme classificação publicada por Paiva e Paiva (2015). Seu exutório está à cerca de 49 m de altitude e sua área de drenagem, considerando-se as Seções 1 e 2, é de aproximadamente de 13,26 km². Cuartas *et al.*, (2012) começaram a coletar dados nesta Seção em 2005.

Em um dos pontos mais altos da bacia, num dos platôs da Seção 3, está instalada a torre de fluxos meteorológicos K34, com 54 m de altura. Os dados meteorológicos registrados complementam a finalidade do sitio do Programa LBA, gerar dados para análise científica que favoreçam a compreensão da dinâmica hidrometeorológica da região da Amazônia Central (LBA, 2017).

Apresenta-se na Figura 11, em maior escala, os limites da bacia do Igarapé Ambrósio, e em menor escala, os limites das Seções da BEIA. Na Tabela 5 estão mencionadas as áreas das Seções e as variáveis hidrológicas nelas monitoradas pela CPH/LBA.

Figura 11 – Hidrografia da bacia do Igarapé Ambrósio com destaque para as Seções de monitoramento hidrológico do sítio do Programa LBA.

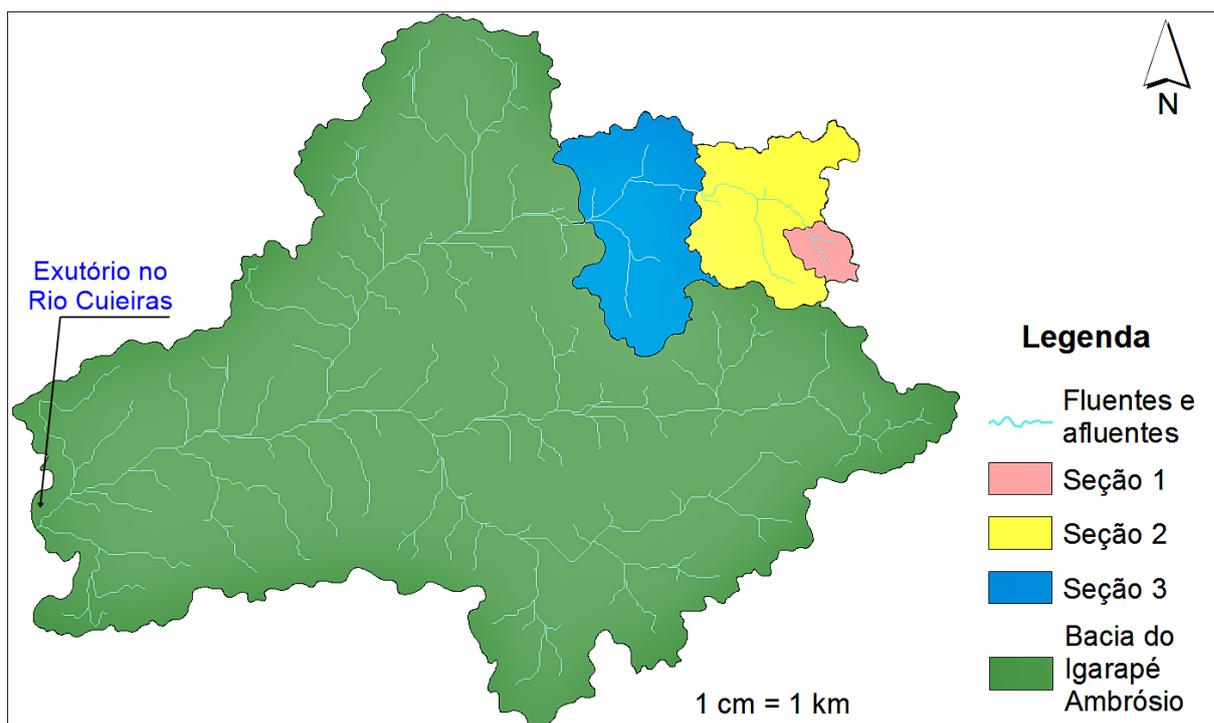


Tabela 5 - Seções de monitoramento hidrométrico da BEIA e as variáveis monitoradas pela CPH e Projetos parceiros.

Seção	Área (km ²)	Σ áreas (km ²)	Variáveis hidrológicas monitoradas
1	0,82	0,82	Lenç. Freático / fluviometria / pluviometria
2	5,50	6,31	Lenç. Freático / fluviometria / pluviometria / umidade do solo
3	6,95	13,26	Fluviometria / pluviometria

3.1.3 Variáveis Monitoradas

Em 2015 O Programa LBA começou uma campanha de reinstrumentação das Seções com novos instrumentos, reativando instalações inativas e otimizando o

monitoramento das Seções da BEIA. Para essa nova fase foi criada a Coordenação de Pesquisas Hidrológicas (CPH), sendo esta a responsável pelas instalações, instrumentos e os dados hidrológicos gerados pela estrutura abaixo mencionada:

1. Pluviógrafos de báscula;
2. Pluviômetros tipo *Ville de Paris*;
3. Poços de monitoramento freático com sensores de pressão;
4. Poços de monitoramento freático com uso de trena métrica adaptada;
5. Uso de sensores de umidade (TDR e SENTEKs);
6. Régua limnimétrica;
7. Sensores de pressão nas estações pluviométricas.

Para tanto, estabeleceu-se as unidades de registro e as frequências de coletas, conforme a Tabela 6. Na Figura 12, mapa do perímetro topográfico das três Seções, pode-se visualizar os locais das instalações pluviométricas, pluviométricas e dos poços de monitoramento da variação freática.

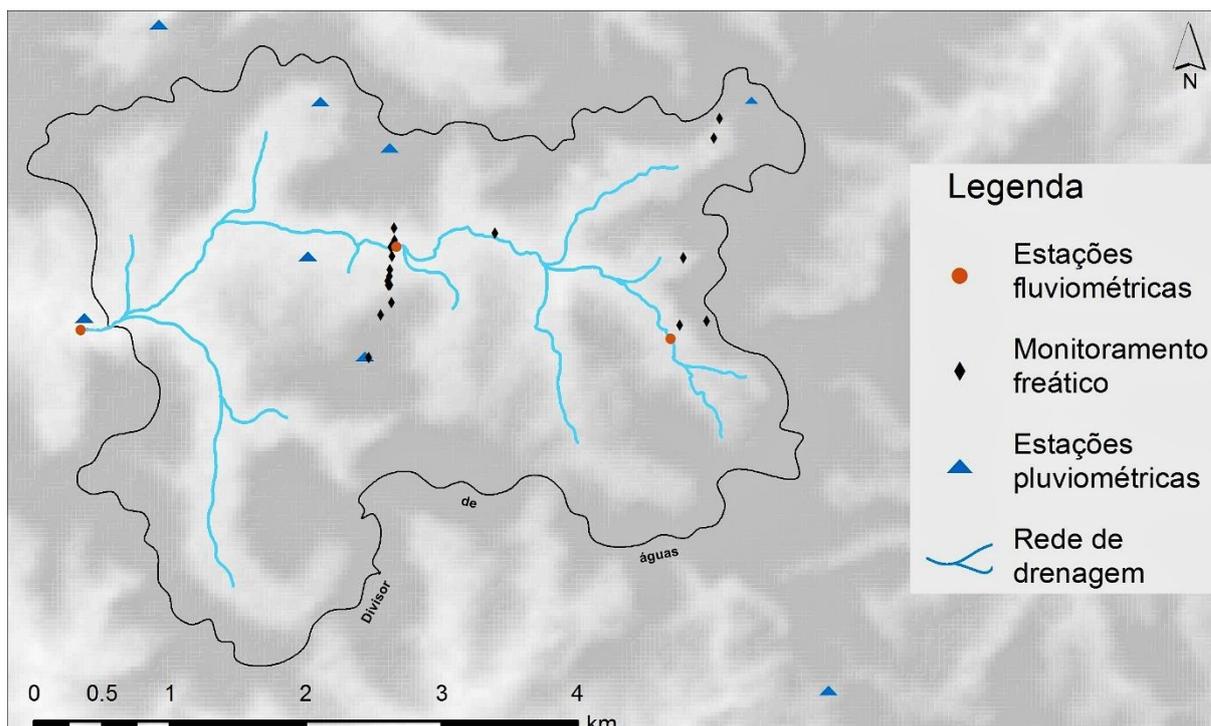
Tabela 6 - Variáveis monitoradas.

Instrumento	Unidade registrada	Frequência de registro	Frequência das coletas
Pluviógrafo	pulsos (<i>tips</i>) / mm	movimento da báscula (evento)	Mensal
Pluviômetro	mL mm	Conteúdo pluviométrico acumulado	quinzenal
Termômetro	°C	5'	mensal
Lençol freático (com sensor)	<i>kPa</i>	15' - 60'	mensal
Lençol freático (com trena)	cm	semanal	semanal
Umidade do solo	Percentual	30'	mensal
Cota limnimétrica (sensor)	<i>kPa</i>	15'	mensal
Cota limnimétrica (observada)	m	semanal	semanal

A frequência de leitura dos sensores foi determinada levando em consideração a inconstância das variáveis, que é relativa as condições edáficas, topográficas e ambientais dos locais monitorados.

Para este Trabalho foram analisadas as variáveis de pluviometria, fluviometria e lençol freático da Seção 2.

Figura 12 - Posições das instalações fixas de monitoramento hidrológico na BEIA.



3.2 Métodos

3.2.1 Desenvolvimento do MDEHC da BEIA

Para a melhor compreensão da dinâmica das variáveis hidrométricas da BEIA, seu estudo fisiográfico foi realizado com apoio do setor de geoprocessamento do Grupo de Pesquisas em Manejo Florestal (LMF) do INPA, através do desenvolvimento de um Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC). O MDEHC foi obtido através da composição de dados SRTM de células de 30 m * 30 m, disponível *on line*, sob cadastro no site do *US Geological Survey* (USGS), com dados ⁴LIDAR (*Light Detecção And Ranging*).

⁴ Também conhecido como *scanner a laser* aerotransportado. É um sensor que emite fluxos de

Os dados LiDAR tem células de 1m * 1m, foi gravada em 2008 com financiamento da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Está disponível através do Projeto Paisagens Sustentáveis da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O escaneamento abrangeu a localização da torre K34, do transecto hidrológico da Seção 2 e dos transectos Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO), favorecendo a uma cobertura de aproximadamente 45% da superfície da BEIA.

Para o processamento manteve-se o sistema de coordenadas da fonte SRTM, *World Geodetic System 1984* (WGS 84). O sistema de projeção adotado foi *Universal Transversa de Mercator* (UTM) Zona 20. O *software* SIG utilizado foi ArcGis, com uso das ferramentas do *ArchHydro Tools*, gerando um modelo raster por meio da Krigagem dos valores dos pixels das imagens. Esse método usa a média local dos pontos amostrados para a geração de novas células de valores ajustados. As novas células, de 10m * 10m proporcionaram maior detalhamento das definições da superfície, favorecendo uma demarcação mais detalhada dos limites topográficos do relevo, assim como, da rede de drenagem.

Para ajustes e validação do raster gerado, foram feitas medidas topográficas em campo, entre elas, o perfil topográfico do transecto da Seção 2. Mediu-se a toposequência do transecto alocando as instalações nela implementadas, registrando as variáveis azimute, distância e altura, tendo como referência o polo magnético da Terra. Para isso usou-se um medidor TruPulse 360 R *Laser Rangefinder* da marca *Laser Technology*. Essa atividade gerou 87 pontos de leituras ao longo de 1.749 metros entre um marco de concreto estabelecido na margem da estrada, onde começa a trilha floresta a dentro, passando pela Estação Fluviométrica da Seção 2, e a torre K34, onde termina o transecto hidrológico da referida Seção.

Além de dados polares, também foram coletadas as coordenadas geodésicas das instalações com um receptor ⁵GNSS Trimble modelo *Pathfinder 6*. Os dados gerados foram processados no *software* Trimble *Pathfinder Office* através de registros diferenciais da base da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), situada em Manaus sob o código 93770, distante aproximadamente 49 km da BEIA. Os dados da RBMC estão disponíveis, sob cadastro, no *site* do

partículas de alta energia. A medição ocorre a partir do tempo transcorrido entre a emissão do pulso e a resposta de refletância a partir da superfície (Canada, 2010).

⁵ *Global Navigation Satellite System*

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE).

Os dados geodésicos foram interpolados com as coordenadas polares, permitindo ajustes de maior precisão na locação das instalações. O produto final desse processo, composto pelo perfil e posicionamento topográfico das instalações, também foi usado na análise de consistência do MDEHC da BEIA.

Com a posição das instalações ajustadas no raster, definiu-se o 0 da régua limnimétrica (RL) da Seção 2 como Z0 do MDEHC.

3.2.3 Morfometria da Seção 2 da BEIA

Com o MDEHC desenvolvido, este Trabalho estimou as variáveis morfométricas abaixo numeradas.

1. Área de drenagem (A): projetada horizontalmente, corresponde à área plana entre os divisores topográficos. É elemento básico para o cálculo das características físicas da bacia.

2. Fator de forma (Kf): fornece o grau de achatamento da mesma bacia, indicando sua drenagem e, conseqüentemente, por isso tem influência na dinâmica hidráulica da área de drenagem, exemplo: no tempo de concentração (Tc), que é definido como o tempo necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de monitoramento, a partir do início da precipitação e seu volume. O (Kf) foi estimado por meio da Equação 5.

Equação 5: Estimativa do fator de forma:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Onde: (Kf) corresponde ao fator de forma; (A) a área de drenagem; (L) é o comprimento do eixo da bacia.

3. Ordem dos cursos de água: adotou-se a classificação de Strahler (1964), onde a identificação se inicia com os cursos que não recebem nenhum afluente, identificados como de 1ª ordem. Quando dois cursos de 1º ordem confluem forma-se o curso de 2º ordem. A confluência de dois cursos de 2º ordem define um curso de 3º ordem. Essa metodologia prevalece até a foz do último curso hídrico, como exemplo:

Rio Amazonas, que chega no Oceano Atlântico como 12° ordem (ANA, 2016). Quando dois rios de ordens hierárquicas diferentes se juntam, prevalece a maior ordem.

4. Coeficiente de Compacidade (Kc): é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia. Quanto mais irregular for o formato da bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Esse índice dá uma ideia do grau de sujeição da bacia e inundações. Está diretamente relacionado ao tempo de concentração, assim como, o Fator de forma (Kf) (VILLELA; MATTOS 1975). O índice (Kc) foi estimado com a Equação 6.

Equação 6: Estimativa de índice de compacidade:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde: (Kc) corresponde ao coeficiente de compacidade; (P) à medida do perímetro; (A) à área de drenagem.

5. Densidade de drenagem (Dd): esse índice é definido pela relação entre o comprimento total dos canais de drenagem (Lt) e a área de drenagem (A). Fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede, perenes, intermitentes e sazonais, com a área da bacia. Foi determinado utilizando-se a Equação 7.

Equação 7: Estimativa do índice de densidade de drenagem:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: (Dd) corresponde a densidade de drenagem; (Lt) comprimento total de todos os canais; (A) à área de drenagem.

6. Curva hipsométrica: ferramenta gráfica que Indica para cada cota do terreno a porcentagem da área da bacia situada acima ou abaixo dessa cota. A análise de variação da relação entre as cotas (altitude) e a área (superfície) da bacia é importante para a melhor compreensão da relação entre a dinâmica hidráulica e morfometria da área de drenagem.

7. Declividade da bacia (S): estimada pela diferença de altitude do início da rede de drenagem, ponto mais afastado do exutório, e a altitude do próprio exutório, dividido pelo comprimento axial do curso principal de água, conforme Equação 8.

Equação 8: Estimativa de declividade e altitude:

$$S = \frac{Z100 - Z0}{L}$$

Onde: ($Z100$) é a altitude da nascente; ($Z0$) é o ponto mais baixo da bacia, numericamente estabelecido pela cota 0 de régua limnimétrica; (L) é o comprimento do talvegue a partir da nascente até o ponto de interesse.

3.3 Pluviometria

3.3.1 A Rede Pluviométrica da BEIA

No ano de 2015 a rede de estações pluviométricas da BEIA passou por revitalização de suas instalações, começando o ano com apenas uma estação ativa e terminando-o com 7. Foram mantidas as locações das estações antigas, determinadas pela distribuição territorial da bacia, além da facilidade de acesso e garantia de qualidade dos dados, já que o monitoramento pluviométrico em área de floresta requer instalações em torres acima do dossel das árvores.

Em 2016 o número de instalações pluviométricas na BEIA aumentou para 8, porém em junho desse mesmo ano a torre identificada como Pluvi. T3 foi atingida pela queda de uma árvore, sintetizando o término de 2016 com 7 instalações ativas.

As estações foram instrumentadas com pelo menos dois aparelhos pluviométricos, um titular e outro como referência e/ou reserva para a possibilidade de problemas no aparelho principal, podendo ser o instrumento de referência um pluviômetro.

O mapa das locações das instalações pode ser visto na Figura 13. A Tabela 7 é uma matriz de distancias entre as estações, enquanto que na Tabela 8 pode-se visualizar a estrutura de cada estação, bem como, descrições básicas de suas instalações.

Figura 13 - Posição das estações pluviométricas da BEIA.

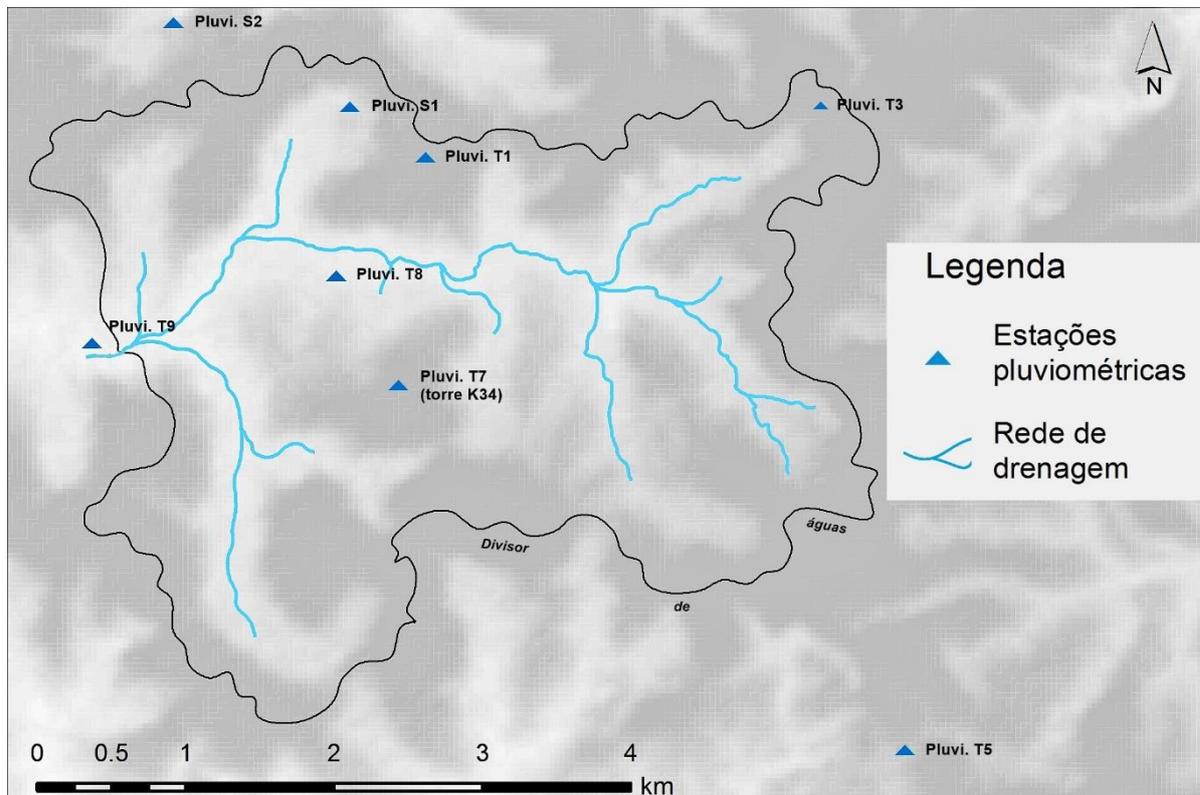


Tabela 7 - Matriz de distâncias dos raios entre as instalações pluviométricas.

Estação pluviométrica

Pluvi. S1	Pluvi. S1							
Pluvi. S2	1.204 m	Pluvi. S2						
Pluvi. T1 (torre FACE)	751 m	1.938 m	Pluvi. T1					
Pluvi. T3	2.891 m	4.009 m	2.368 m	Pluvi. T3				
Pluvi. T5	5.239 m	6.361 m	4.509 m	4.019 m	Pluvi. T5			
Pluvi. T7 (torre K34)	1.751 m	2.635 m	1.283 m	3.129 m	3.852 m	Pluvi. T7		
Pluvi. T8 (torre B34)	1.048 m	1.860 m	878 m	3.155 m	4.561 m	780 m	Pluvi. T8	
Pluvi. T9	2.155 m	2.045 m	2.378 m	4.712 m	5.594 m	1.894 m	1.558 m	Pluvi. T9

Tabela 8 - Descrição das estações pluviométricas da BEIA.

Pluvi. S1



Coordenadas: S -02 35' 36,1 O -60 12' 42,4

Descrição ambiental da instalação: Ao lado de estrada, próximo ao alojamento do Programa LBA, distante 15 m de raio da floresta.

Pluviógrafo: Vaisala QMR 102. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 1,8 m

Pluvi. S2



Coordenadas: S -02 35' 19,1 O -60 13' 17,6

Descrição ambiental da instalação: Em uma clareira de 2,4 há, num platô próximo de encosta. Distante 45 m de raio da floresta. Cercado por baixa vegetação nativa.

Pluviógrafo: Vaisala QMR 102. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 1,65 m

Pluvi. T1



Coordenadas: S -02 35' 46,2 O -60 12' 27,3

Descrição ambiental da instalação: Instalado na torre 2 do Projeto FACE, acima do dossel da floresta.

Pluviógrafo: Vaisala QMR 102. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 42 m

Pluvi. T3



Coordenadas: S -02 35' 35,6 O -60 11' 08,8

Descrição ambiental da instalação: Em torre instalada no platô, divisor de águas do lado norte da BEIA, em margem de estrada ao lado da floresta.

Pluviógrafo: HOBO RG3-M. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 26,5 m

Pluvi. T5



Coordenadas: S -02 37' 45,4" O -60 10' 51,7"

Descrição ambiental da instalação: Em margem de estrada, ao lado da floresta. Torre fora da área da BEIA.

Pluviógrafo: HOBO RG3-M. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 11,5 m

Pluvi. T7



Coordenadas: S -02 36' 32,1" O -60 12' 32,7"

Descrição ambiental da instalação: Na torre K34, platô sul da BEIA. No final do transecto piezométrico da Seção 2.

Pluviógrafo: Vaisala QMR 102. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 54,3 m

Pluvi. T8



Coordenadas: S -02 36' 10,1 O -60 12' 45,08

Descrição ambiental da instalação: Na torre B34, no vale central da Seção 3 da BEIA. Área de floresta tipo campinarana.

Pluviógrafo: Vaisala QMR 102. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 35,3 m

Pluvi. T9



Coordenadas: S -02 36' 23,7 O -60 13' 33,6

Descrição ambiental da instalação: Em torre instalada em área de fundo de vale, na zona leste da microbacia. Área de floresta. Próximo ao exutório da Seção 3.

Pluviógrafo: HOBO RG3-M. 0,2 mm / báscula

Datalogger: HOBO UA-003-64kb - *Pendant Event*

Registro: Evento (*tip*)

Altura: 30,5 m

3.3.2 Consistência e filtragem dos dados pluviométricos

A análise de consistência dos dados começava em campo verificando-se a similitude gráfica e numérica dos registros. Nas poucas ocasiões em que houveram disparidades, estas foram decorrentes de entupimento ou problemas com as baterias dos *dataloggers*. Nesses casos os dados dos instrumentos de referência substituíram os registros dos instrumentos titulares nas análises de Dupla Massa.

A sequência dos procedimentos operacionais, tanto em campo como em escritório, podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9 - Processos operacionais para os dados pluviométricos deste Trabalho

Local / ambiente	Atuação
Na coleta, campo	<ul style="list-style-type: none"> a) Observação da condição física da instalação; b) <i>Download</i> dos registros do <i>dataloggers</i>; c) Manutenção e testes dos instrumentos e sensores; d) Conversão de ml para mm (pluviômetros). e) Certificação prévia do pluviograma / hietograma; f) Comparação de registros e resultados para as mesmas estações pluviométricas.
No escritório	<ul style="list-style-type: none"> a) Lançamento de relatório de atividade; b) Filtragens dos dados por períodos no HoboWare; c) Exportação para <i>x/s</i>; d) Planilhamento e plotagem gráfica pelo método de Dupla Massa; e) Certificação f) Filtragens sob os critérios do MIT e LMP; g) Plotagem dos pluviogramas e hietogramas.

O método de Dupla Massa foi desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS), é um dos procedimentos mais usados por entidades de Serviços Meteorológicos e Hidrológicos (SMHN) do mundo (WMO, 2011). O método consiste na formação de um gráfico cartesiano com curva duplo acumulativa correlacionando a altura periódica registrada da estação a ser certificada (nas ordenadas) com a média acumulada dos dados de todas as outras estações pluviométricas da rede (nas abscissas). O alinhamento da reta de regressão linear indica a proporcionalidade entre os dados das estações em questão.

Para as estações instaladas em dezembro de 2015 foram usados acumulados diários, enquanto que para as estações com séries maiores usou-se acumulados mensais. Para os dados de 2016, por estar a rede pluviométrica bem estabelecida nesse ano, os registros tiveram sua consistência analisada somente por acumulativos mensais.

Considerando-se serem os dados oriundos de instalações de uma bacia experimental, o principal escopo deste projeto na análise de consistência dos dados pluviométricos foi a identificação de possíveis erros que pudessem influenciar nos

resultados da Hidrógrafa, na determinação do BH.

O refinamento dos dados foi feito no interesse de se observar a pluviometria e a pluviosidade. Para isso foram usadas as funções do *software* Hoboware-pro, além da planilha desenvolvida por Freitas *et al.*, (2015) para filtragens subhoraria das séries.

Para a análise subhoraria das ocorrências pluviométricas adotou-se o critério temporal de 20 minutos como o Mínimo Intervalo de Tempo (MIT) entre eventos. Após análise prévia dos dados considerou-se as precipitações abaixo de 1 mm pouco representativas, estabelecendo-se essa altura como estratégia de Lâmina Mínima Precipitada (LMP) para definição e filtragem de ocorrência pluviométrica.

Os produtos da filtragem foram: a) acumulados por minutos; b) duração das chuvas; c) intensidade; d) acumulado diário; e) acumulado mensal; f) acumulado anual.

Para estimativa do índice pluviométrico sobre a BEIA, após análise de Dupla Massa, usou-se a média aritmética da precipitação diária, conforme Equação 9

Equação 9: Índice pluviométrico por meio da média aritmética:

$$Px = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi$$

Onde: (Px) corresponde a precipitação média; (n) ao número de estações pluviométricas.

3.4 Fluviometria

Os locais das estações fluviométricas foram estabelecidos sob o critério da presença de trechos com atinente declividade em canais relativamente invariáveis em forma, garantindo a ausência de efeitos de represamento, priorizando o resguardo do fluxo uniforme baseados na relação altura / descarga.

Os níveis da água dos igarapés são monitorados por meio de sensores de pressão que registram em *data logger* interno a variação da pressão exercida pela coluna d'água sobre o equipamento. A conversão da série de pressão (kPa) em

coluna metros de água [CMA (mH₂O)] passa pela compensação barométrica e processamento com pelo menos duas referências métricas obtidas pelas frequentes leituras das réguas limnimétricas instaladas nos leitos das Estações Fluviométricas.

Por estar a BEIA em área ambientalmente preservada, os canais das Estações Fluviométricas são relativamente estáveis, sem ocorrência de transporte de sedimentos assoreados e picos de vazão anormais. Tal situação favoreceu o uso de instalações simples dos sensores de pressão, estando estes em tubos de policloreto de polivinila (PVC) inseridos nos leitos das três Estações Fluviométricas, presos por cabos e não encostados no fundo das calhas, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Réguas limnimétricas e tubos onde sensores de pressão registram a variação das cotas nas estações fluviométricas da BEIA.



Para garantir o registro das menores variações das cotas limnimétricas definiu-se o intervalo de registros dos linígrafos em 15 minutos. A frequência curta também favorece a análise dos erros associados a variação da pressão atmosférica, corrigido através de compensação barométrica, variável registrada em barômetro externo na torre K34.

Este Trabalho apresenta dados fluviométricos da Seção 2, da qual estimou-se a vazão após análise metodológica de dois procedimentos distintos:

a) Curva-chave: Obtida pela relação cota/descarga monitorados na estação fluviométrica. Dado a cota na seção para a qual a expressão foi desenvolvida,

obtém-se a vazão. Com a estimativa limitada pela margem de erro em momentos de extrapolação da curva, a vazão também foi estimada pelo método de Manning;

b) Coeficiente de rugosidade de Manning: Normalmente definido como forma de simplificação para uma determinada secção de um canal, tem variação de acordo com a cota em relação a geometria da secção da estação fluviométrica. Por considerar a resistência física do ambiente à água, a aplicação do coeficiente de rugosidade de Manning visou a melhora da estimativa das vazões acima do nível crítico.

A variação da declividade do curso hídrico, da forma da seção, mais estreita ou mais larga, são variáveis que influenciam nos resultados. Entretanto, para a BEIA, esses valores têm sido razoavelmente constantes ao longo do tempo, sendo a cota a principal variável temporal na calibração da expressão para os anos de 2015 e 2016.

3.4.1 Medição da Descarga Hidráulica

O método usado para se estimar descargas hidráulicas, meio de obtenção de pares de cota/descarga para subsequente uso na geração da Curva-chave, foi o de dissolução química, também conhecido como método Químico de Integração ou Método Traçador, adotado inicialmente em regiões da Amazônia por Waterloo *et al.*, (2004).

O método do traçador tem a vantagem de ser adaptável as condições do ambiente florestal, onde outros métodos seriam menos precisos ou requereriam adequações que perturbariam o ambiente natural. Além disso, estudos anteriores, comparando a precisão de diferentes métodos constataram sua viabilidade para pequenas vazões estabelecidas por canais. Deve-se considerar também a viabilidade econômica do método (TRANCOSO 2006).

Na execução do método, realizado ao menos uma vez por mês, media-se inicialmente a condutividade base da água do igarapé, preparava-se a solução do traçador dissolvendo 1kg de sal refinado (NaCl) num recipiente com 50 litros de água do igarapé, em seguida, em uma proveta, misturava-se 50 ml da solução com 950 ml de água do igarapé e media-se a condutividade na proveta. Após isso, efetuava-se a dejeção dos 50 litros do traçador a 50 metros à montante do ponto de leitura do condutímetro, que registrava a condutância a cada 15". A leitura era encerrada após

a passagem da nuvem do traçador, momento no qual a condutividade da água voltava a condutividade de base.

Com uso de condutímetro automático dotado de *dataloggers*. Tanto a validação do gráfico de passagem da nuvem do traçador, assim como o cálculo de estimativa da descarga hidráulica, era feito ainda em campo com uso dos *softwares* HOBOWare-Pro e Excel, conforme a Equação 10, apresentada por Trancoso (2006).

Equação 10: determinação de vazão pelo método do traçador.

$$Q = \frac{(C_i - C_b) * V_i}{\int_0^{\infty} (C_t - C_b) * d_t}$$

Onde: (Q) corresponde a vazão; (C_i) é a condutividade elétrica da solução; (C_b) é a condutividade base do igarapé; (C_t) é a condutividade acumulada da nuvem do traçador no tempo; (V_i) é o volume da solução em m³; (d_t) é a duração temporal da passagem da nuvem do traçador.

3.4.2 Geração da Curva Chave para a Seção 2

A determinação dos parâmetros da curva-chave é conceituada e sua forma de obtenção e melhoramento se deu com o suplemento SOLVER do Microsoft Excel.

Foram considerados 33 pares viáveis de amostras de cota/descarga para aplicação no processo de geração da curva-chave. O método de elaboração foi o logarítmico. Este, baseia-se no fato de que a relação entre as cotas e descargas medidas em uma seção transversal pode ser expressa através de uma equação de uma parábola do grau n , que pode ser representada pela Equação 11.

Equação 11: geração de curva-chave.

$$Q = A * (h - h_0)^n$$

Onde: (Q) é a descarga líquida em m³/s, (A) é a constante a ser determinada, (h) é a cota observada, (h_0) é a cota correspondente à descarga zero, (n) é o grau da parábola.

As amostras correspondem somente ao período de 2015 e 2016, temporada de atípica variação pluviométrica, com consequência diminutiva no regime das vazões na Seção 2.

A sequência dos procedimentos de coleta e geração ou atualização da curva – chave estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Processos para dados de vazão e geração de curvas-chave.

Local / ambiente	Atuação
Na coleta	a) Aferição das medidas batimétricas da seção transversal;
	b) Medição da vazão pelo método Traçador;
	c) Observação da curva de condutância e validação da coleta;
	d) Cálculo da descarga hidráulica;
No escritório	a) Lançamento de relatório de atividade;
	b) Atualização das planilhas de correlação cota/vazão;
	c) Atualização da curvas-chave;
	d) Ajuste das curvas-chave com o suplemento Solver.

3.4.3 Estimativa do Coeficiente de Rugosidade de Manning

Entendendo-se que as características do canal são conexas as forças resistivas, a variação do coeficiente de rugosidade de Manning (n) pode ser significativamente alta quando relacionada com a cota, principalmente em planícies de inundação com vegetação. Diante da variação da heterogeneidade da rede de drenagem da BEIA, modificando-se entre cursos de fluxos contínuos e zonas alagadiças, este Projeto visou determinar o coeficiente adequado para a Seção 2 por meio da relação cota e descarga, ajustando arbitrariamente o n até a coincidência perfeita da descarga conhecida (Q_{obs}) com a descarga calculada (Q_{calc}). Para isso usou-se a Equação 12, formulada pela composição dos métodos hidráulicos de Manning e Strickler, conforme Lencastre (1996).

Equação 12: Formula hidráulica.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{0,666} * I^{0,5}$$

Onde: (Q) é a vazão em m³/s, (R) é o raio hidráulico da seção, (A) é a área da seção, (I) é a inclinação da linha de energia, (n) é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Os parâmetros A e R foram determinados por meio da análise geométrica da secção da estação fluviométrica da Seção 2, ocasião da medição da batimetria. O R é resultante da divisão de A pelo perímetro molhado. A área molhada e o perímetro molhado foram calculados individualmente para cada cota amostrada, para isso usou-se o *software* AutoCad. O parâmetro I foi determinado a partir da divisão do comprimento do leito, a partir da posição da régua, pela amplitude microtopográfica num raio de 10 m da secção batimétrica.

Com o n estabelecido para cada cota observada (C_{obs}), sendo o mínimo igual a 0,03587 e o máximo igual a 0,07108, e descargas entre 0,0443 m³/s e 0,4747 m³/s, calculou-se a média para ser aplicada nas comparações como o n constante de 0,0526. As estimas foram regredidas pela relação cota/descarga, obtendo-se um resultante potencial que foi aplicada no cotagrama para gerar a série de vazões periódicas.

A comparação dos resultados entre vazão observada (Q_{obs}), vazão calculada com n ($Q_{calc n}$), e vazão calculada pela relação cota/descarga ($Q_{calc cc}$), foi realizada com base nos métodos de:

- a) Erro Médio Absoluto, conforme a Equação 13;
- b) Erro Relativo, conforme a Equação 14;
- c) Erro Quadrático Médio, conforme a Equação 15.

Equação 13: Erro Médio Absoluto.

$$EMA = Q_t^{obs} - Q_t^{calc}$$

Equação 14: Erro Relativo.

$$ER = \Sigma \frac{Q_t^{obs} - Q_t^{calc}}{Q_t^{obs}}$$

Equação 15: Erro Quadrático Médio

$$EQM = \sqrt{\Sigma(Q_t^{obs} - Q_t^{calc})^2}$$

Onde: (Q_t^{obs}) é a série de vazões observadas; (Q_t^{calc}) é a série de vazões calculadas com base no coeficiente de Manning.

3.4.4 Cota Limnimétrica

A cota limnimétrica foi obtida com sensor de pressão submarino, modelo HOBO U20L. Trata-se de um limnígrafo que também registra temperatura, tem bateria e memória interna, é de baixo custo e fácil implementação.

A fixação do sensor foi feita no mesmo suporte da régua limnimétrica, na calha da estação fluviométrica da Seção 2, em 09/04/2015, dentro de um tubo de PVC com perfurações nas laterais permitindo o fluxo de água no seu interior. O *datalogger* foi programado para registros em intervalos de 15 minutos.

Fizeram-se expedições exclusivas para realização das atividades fluviométricas, ocasião em que se efetuava as seguintes tarefas padrão: a) baixar dados do sensor de pressão via cabo de conexão; b) realizar a leitura da régua limnimétrica; c) medição de descargas hidráulicas pelo método do Traçador; d) manutenção da estação fluviométrica.

Era feita uma avaliação prévia dos dados ainda em campo como procedimento inicial de análise de consistência das amostras coletadas. No caso dos dados de pressão, eram necessários, além da referência métrica, os dados de referência barométrica, fornecidos posteriormente pelo ⁶Grupo de Micrometeorologia do Programa LBA.

⁶ Grupo de pesquisas micrometeorológicas do Programa LBA, responsável pelo monitoramento de dados atmosféricos medidos na torre K34.

Os dados barométricos foram cedidos em unidade *hPa*. A transferência para coluna metro de água (*mH₂O*) se deu por meio do fator de conversão de valor 0,01019744288922. Os dados do sensor de pressão do igarapé, em unidade *kPa*, foram convertidos para *mH₂O* através do fator de conversão de valor 0.1019744288922. Os valores dos fatores de conversão estão de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), conforme Rozemberg (2000).

A Equação 16 apresenta a primeira fase do processo de edição dos dados de cota limnimétrica. O produto resultante é a pressão hidrostática em série métrica, apresentada aqui como cota estimada (C_{est}).

Em função do desnível de cerca de 104 metros entre o barômetro da torre K34 e o sensor submerso no igarapé, a cota estimada apresentou diferenças em relação a cota observada. O ajuste da série limnimétrica foi feito por meio da Equação 17, onde os dados foram submetidos às transformações vetoriais baseadas em duas referências métricas, uma no início das séries ($C_{obs\ i}$), momento da programação do *logger*, e outra no fim das séries ($C_{obs\ f}$), momento do *download* dos registros. O resultado é a diferença média por amostra registrada no *logger* (Dif_r).

A Equação 18 representa a fase final da edição dos dados. Trata-se da amortização gradual da diferença total entre a $C_{obs\ i}$ e $C_{obs\ f}$. O resultado é a cota calculada (C_{calc}).

Equação 16: Conversão de *kPa* à C_{est}

$$C_{est} = (P_t * T_x) - (P_{barom} * T_x)$$

Equação 17: Geração do diferencial por registro através das referências métricas

$$Dif_r = \left(\frac{(C_{obs\ i} - C_{est\ i}) - (C_{obs\ f} - C_{est\ f})}{n} \right)$$

Equação 18: Geração da cota calculada

$$C_{calc} = \left[\left(\sum_{Dif} n - C_{est} \right) - Dif_i \right] - Dif_r$$

Onde: (C_{est}) é a coluna metro de água estimada após compensação barométrica; (P_t) é a pressão total (pressão barométrica mais a pressão hidrostática) registrada pelo sensor submarino; (P_{barom}) é a pressão atmosférica; (T_x) é a taxa de conversão de unidades; (Dif_r) é a diferença por registro do *logger*, (n) é o número de registros; (C_{obs}) é a cota observada; (C_{calc}) é a cota calculada.

O diferencial por registro é obtido pela divisão das diferenças de início e fim da série, divididas pelo número de leituras do *logger*, resultando, normalmente, em um valor manométrico, já que mensalmente são memorizados mais de 2.800 dados.

A análise de consistência dos valores numéricos das cotas de 2015 e 2016 foi feita através da correlação entre a série calculada com os registros observados na régua limnimétrica.

3.4.5 Modelagem das Vazões Sem Cotagrama

Adotou-se o método Racional para estimativa das vazões máximas diárias dos períodos lacunares da série C_{calc} . Este método se define pelo aplanamento na análise dimensional das diversas variáveis que influenciam na conversão da chuva precipitada em chuva efetiva, tal como: tipo de cobertura vegetal; classificação de solos; declividade; tempo de retorno da precipitação. As complexas relações desses parâmetros são representadas resumidamente na Equação 19 pelo fator C .

Equação 19: Método Racional de estimativa de vazões

$$Q_{mod(máx)} = \frac{C * I * A}{360}$$

Onde: ($Q_{mod(máx)}$) é a vazão máxima modelada; (C) é a taxa de conversão de chuva precipitada em chuva efetiva; (I) é a altura da precipitação em *mm* incidida na área de captação em estudo; (A) é a área de captação pluvial em *ha*.

Com as estimativas das vazões máximas complementadas passou-se a modelar o nível de base da Estação Fluviométrica, para isso considerou-se as cotas observadas em coletas semanais, definindo-as como constantes para os períodos correspondentes às suas leituras.

Garantiu-se que todas as C_{obs} representassem o nível de base, eliminando as

leituras associadas a períodos de concentração ou recessão das vazões das chuvas efetivas. Em seguida foram submetidas ao procedimento de correlação cota/descarga (Equação 10), com uso do expoente $Q_{calc(n)}$, apresentado na Equação 20.

Equação 20: Modelagem do nível de base

$$Q_{mod} = (C_{obs} * Q_{calc(n)}) + Q_{mod(máx)}$$

Onde: (Q_{mod}) é a vazão modelada; (C_{obs}) é a cota observada adotada como constante para a semana correspondente; ($Q_{calc(n)}$) é o valor exponencial obtido pela regressão entre cota/descarga estimada pelo coeficiente de rugosidade de Manning; ($Q_{mod(máx)}$) é a vazão de pico (Equação 19).

3.4.5.1 Estimativa do Tempo de Concentração

Os resultados dos vários métodos apresentados na literatura para estimativa do Tempo de Concentração (TC) raramente coincidem, já que em sua maioria foram construídos a partir de estudos em bacias experimentais com atributos específicos, motivo pelo qual o TC estimado indiretamente introduz incertezas no dimensionamento da vazão de pico, devendo-se usar de medidas observadas para certificação dos métodos e seus resultados.

O método adotado para este Trabalho foi o de Kirpich, cuja a revisão da equação foi apresentada por Mota (2012), conforme a Equação 21. O resultado foi comparado com a relação chuva/vazão de pelo menos dois eventos pluviométricos dos anos estudados, um de alta intensidade e outro de intensidade moderada.

Equação 21: Cálculo do tempo de concentração, método de Kirpich, conforme ajuste de Mota (2012).

$$tc = 0,0620 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,80}$$

Onde: (tc) é o tempo de concentração estimado em horas; (L) é o comprimento da bacia em linha reta do exutório até o divisor, em km; (S) é o desnível entre o exutório e o divisor da bacia.

Para execução dos cálculos anteriores usou-se o IDF revisado por Monteiro & Braga (2018) para a região de Manaus, apresentado na Equação 22, comparando a intensidade máxima projetada para a área de captação da Seção 2, conforme o TC estimado pelo método de Kipirch.

Equação 22: Equação IDF para Manaus, segundo Monteiro e Braga (2018).

$$I = \frac{1102,276 * tr^{0,115066}}{(tc + 9,786324)^{0,724259}}$$

Onde: (I) é intensidade; (tr) é o tempo de retorno; (tc) é o tempo de concentração.

3.4.6 Vazões calculadas

A estimativa do escoamento hídrico é parâmetro essencial para o dimensionamento hidrológico de uma bacia hidrográfica ou de um sistema aberto de gestão de recursos hídricos, por isso, é um dos componentes mais estudados, observados e modelados na hidrologia (TOMAZ, 2002).

Com o implemento de ajuste correlacional entre as séries C_{obs} , C_{calc} e C_{mod} , pôde-se estimar as vazões com o proveito das resultantes obtidas pelo método de Manning e Strickler através da Equação 23.

Equação 23: Estimativa de vazão pela relação cota/descarga

$$Q = \frac{0,01^{(4,4291 * C_{calc})} * i_r \sum_{nt}^{\infty}}{A}$$

Onde: (Q) é a vazão; (C_{calc}) é a cota; (i_r) é o intervalo de registro do *datalogger* em segundos; (nt) é o número de registros no tempo; (A) é a área de captação.

Os volumes estimados das descargas realizadas durante as atividades de

campo resultavam em de m^3/s . O intervalo de registro usado nos dados deste Trabalho para estimativa de vazão continua é de 30 minutos, sendo por tanto, o intervalo de registros igual a 1.800 segundos.

3.5 Monitoramento Freático

O monitoramento do aquífero subterrâneo na Seção 2 da BEIA foi feito por meio de 8 poços de observação estrategicamente instalados a partir da estação fluviométrica até proximidades do divisor de águas, perfazendo um gradiente topográfico da margem esquerda do igarapé Asu, concluindo-se numa secção transversal de monitoramento do nível da zona saturada da bacia. Os instrumentos foram ativados por Tomasella *et al.*, (2007) em meados de 2001. São caracterizados por tubos de PVC de 5 cm a 15 cm de diâmetros e profundidades que variam entre 1,25 m e 50 m, conforme a topografia e a distância do nível da zona saturada.

A identificação dos poços foi feita considerando-se as posições topográficas, além das características físicas e de funcionamento das instalações. Os poços em área de platô são de tubos mais largos e profundos, sendo identificados pelas iniciais PP (poço profundo).

Para os poços em área da planície, de tubos com menores diâmetros e menores profundidades, as iniciais de identificação é PR (poço raso). Ainda há a identificação de inicial PT (poço taqueométrico), dada às instalações cuja coleta e registro dos dados foi manual, empregando-se trena adaptada, já que não eram instrumentados com sensores de pressão.

Para análise minuciosa da relação do nível da zona freática com a toposequencia do transecto, efetuou-se a medição do desnível topográfico e a locação polar das instalações dos poços, interpolando tais dados com registros geográficos obtidos com um receptor GNSS Trimble modelo *Pathfinder 6*, conforme metodologia apresentada no subtópico 3.2.1

No platô, equivalente a 53% do comprimento do transecto, há 3 instalações, sendo: PP 01, instalação implementada próxima ao divisor de águas. É o poço de maior distância vertical da régua limnimétrica; PP 02, implementado entre o divisor de águas e a beira da encosta, na metade da distância vertical entre o PP 01 e o PP 03; O PP 03 está implementado próximo da beira da encosta. A partir dele o desnível se

aproxima de 20% em um declive que representa aproximadamente 16 % do comprimento total do transecto até a posição do PR 05.

Na planície foram analisados dados de 5 poços, sendo: PR 05, implementado no início da eira da planície; PR 06, primeiro poço de observação na topografia de planície; PR 07, implementado no alinhamento médio da vertente do lençol freático; PR 08 e PR 09, instalações de 1,25 m de profundidades cuja os tubos externam à superfície outros 1,25 m devido estarem na área de várzea.

Os procedimentos de campo para coleta de dados dos sensores de pressão, assim como, os procedimentos básicos realizados em escritório estão disponíveis na Tabela 11.

Tabela 11 - Processos dos dados de pressão absoluta.

Local / ambiente	Atuação
Na coleta	<ul style="list-style-type: none"> a) Observação e avaliação da condição física da instalação; b) Download dos dados em unidade <i>kPa</i>; c) Análise prévia do gráfico dos dados; d) Procedimento de obtenção da medida de referência métrica; e) Conversão prévia de <i>kPa</i> para mH_2O, para melhor avaliação dos dados.
No escritório	<ul style="list-style-type: none"> a) Lançamento de relatório de atividade; b) Compensação barométrica dos dados em <i>kPa</i>; c) Conversão definitiva de <i>kPa</i> para mH_2O através de transformação vetorial com duas referências métricas; d) Tabulação; e) Filtragens; f) Plotagem.

As medidas realizadas semanalmente, feitas por meio de trena adaptada, condicionante implicada aos poços enquanto PTs por não serem instrumentados com sensores submarinos, fato que se concretizou para as instalações mais estratégicas

somente no final de 2016, eram feitas conforme a Tabela 12, onde apresentam-se as fases dos procedimentos de coleta e edição dos dados obtidos com trena métrica.

Tabela 12 - Processos de coleta e edição de dados de lençol freático obtidos com trena métrica adaptada.

Local / ambiente	Atuação
Na coleta	f) Observação e avaliação da condição física da instalação;
	g) Medida da profundidade do lençol freático a partir do nível do tubo;
	h) Registro em planilha de campo com data e hora;
No escritório	g) Lançamento de relatório de atividade;
	h) Lançamento dos dados na planilha do Microsoft Excel, onde são compensadas medidas adicionais da externalidade do tubo do poço e da extensão da adaptação na trena. O resultado é a distância do lençol freático do nível do solo;
	i) Filtragens;
	j) Plotagem.

Imagens das instalações dos tubos dos poços, assim como, dos equipamentos básicos usados no monitoramento da variação freática, podem ser vistas na Figura 14.

A referência métrica, medida requerida para conversão da série *kPa* para *mH₂O*, sob condição da representatividade métrica da posição de imersão do sensor de pressão, era obtida nas atividades de campo em PRs e PPs, através da Equação 24.

Equação 24: Obtenção da referência métrica para conversão de dados *kPa* em *mH₂O*. Procedimento de campo para PRs e PPs.

$$Rm = (Ps - Dft) + Am$$

Onde: (R_m) é a referência métrica; (P_s) é a profundidade invariável do sensor de pressão; (D_{ft}) é a distância do lençol freático a partir do nível do tubo; (A_m) é o adicional métrico da adaptação da trena métrica.

Figura 15 - Equipamentos básicos para as atividades de monitoramento freático e Instalações dos poços do platô e da planície.



As conversões dos dados registrados pelos sensores em kPa foram convertidas para mH_2O com os mesmos princípios de análise dos dados limnimétricos do igarapé (Equações 15, 16 e 17).

Para dados obtidos em instalações tipo PTs, obtinha-se a profundidade do nível freático através da Equação 25.

Equação 25: Obtenção da distância do lençol freático em instalações tipo PTs.

$$Df = (D_{ft} - Te) + Am$$

Onde: (Df) é a distância do lençol freático em relação ao solo; (D_{ft}) é a

distância do lençol freático a partir do nível do tubo; (Te) é a medida da parte externa do tubo; (Am) é o adicional métrico da adaptação da trena métrica.

Padronizou-se a relação entre os dados freáticos coletados por diferentes métodos, estabelecendo-se a escala semanal para análise dos mesmos.

3.6 Balanço Hídrico

Com a análise morfométrica da área de captação da Seção 2, e as estimações volumétricas das variáveis de precipitação, fluviometria e variação do lençol freático, objetivou-se a estimativa do balanço hídrico dos anos julianos de 2015 e 2016 para a Seção 2 da BEIA pelo método simplificado de continuidade da massa, conforme a Equação 26, cuja as posições dos parâmetros foram ajustadas de acordo com as variáveis estudadas neste Trabalho.

Equação 26: Balanço hídrico, método simplificado ajustado

$$Et = (P - Q) \pm \Delta s$$

Onde: (Et) corresponde à evapotranspiração; (P) à precipitação; (Q) à vazão; (Δs) à taxa de reposição do lençol freático.

Devido a complexa relação entre os parâmetros hidrológicos do BH da BEIA, adotou-se o Et como de valor constante para a melhor análise do estudo hidrológico da Seção 2.

Segundo Tomasella *et al.*, (2007), que estudou as variáveis hidrológicas da BEIA entre novembro de 2001 e novembro de 2004, a Et média anual do período de seus estudos foi de $3,86 \text{ mm/dia}^{-1}$, conforme números apresentados, entre outras variáveis, na Tabela 13.

O método adotado pelo pesquisador foi de Penman–Monteith. As variáveis de fluxo atmosférico foram coletadas na Torre K34.

Tabela 13: Médias anuais de algumas variáveis hidrológicas da BEIA entre novembro de 2001 e novembro de 2004.

Período	Precipitação (mm/dia⁻¹)	Vazão (mm/dia⁻¹)	Evapotranspiração (mm/dia⁻¹)
11/2001 - 10/2002	8,36	4,0	4,03
11/2002 - 10/2003	5,71	2,37	3,82
11/2003 - 10/2004	7,54	3,27	3,74
Média dos três anos	7,18	3,18	3,86

Fonte: Tomasella *et al.*, (2007)

CAPITULO 4: ANÁLISES

4.1 Consistência do MDEHC

O relatório gerado pela correção diferencial dos dados geodésicos coletados com o instrumento GNSS Trimble modelo *Pathfinder 6*, e processados no *software Trimble Pathfinder Office*, apontou amplitude dos erros entre 1 m e 0,30 m para variáveis X e Y, e 1 m para variável Z. São resultados satisfatórios considerando-se a cobertura densa da floresta, onde o sinal satelital é mais fraco.

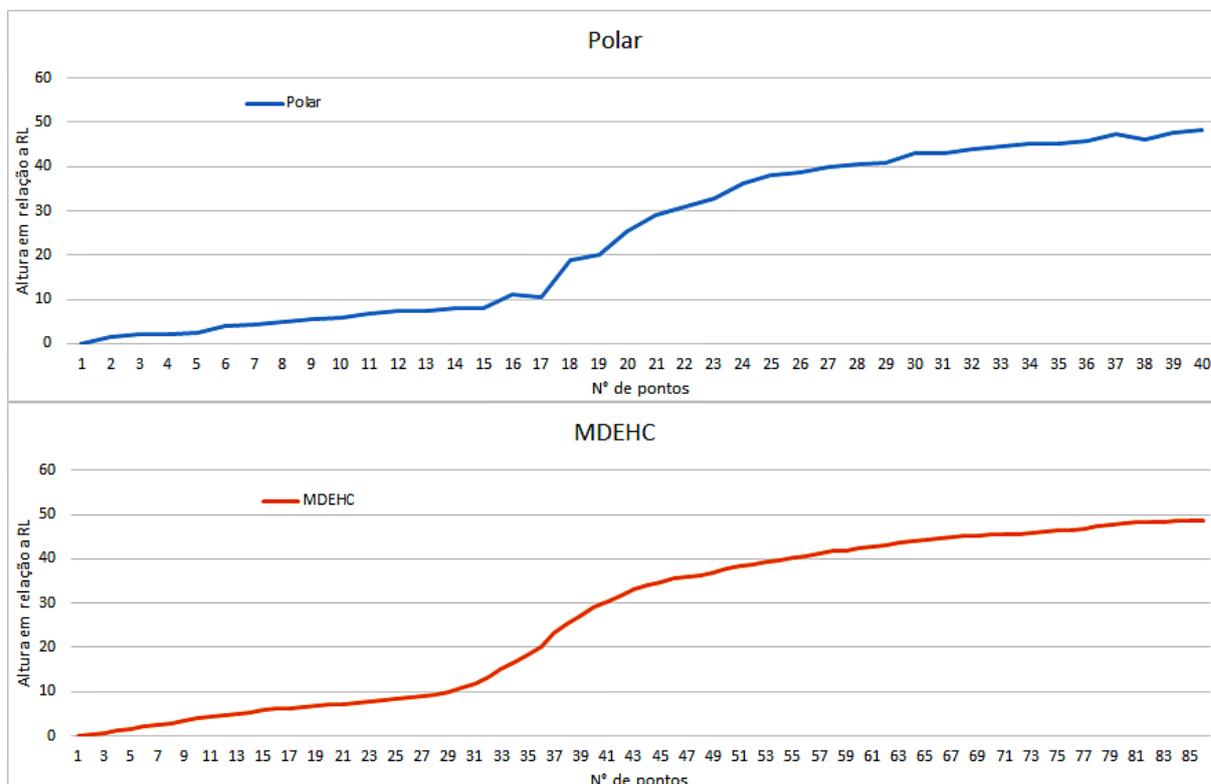
As posições das coordenadas polares foram georreferenciadas pelos dados geodésicos corrigidos. Esse procedimento foi realizado no *software ArcGis*, permitiu a análise de similaridade entre as posições dos poços de monitoramento freáticos. A resultante apontou paridade de 75% entre as coordenadas polares e as coordenadas geodésicas.

Esses dados foram usados na análise de consistência da imagem raster desenvolvida pela krigagem entre os dados SRTM e LiDAR. O posicionamento dos pontos coincidiu em 90% com os valores das células de 10 m * 10 m, tendo o Z0 da régua limnimétrica como referência.

A Figura 16 apresenta dois perfis topográfico do transecto de monitoramento freático, de aproximadamente 816 metros. A similaridade das curvas geradas a partir dos dados polares se assemelha ao relevo dos dados de elevação do MDEHC. Nota-se a suavização nas curvas do raster nas cavidades da superfície, a exemplo da calha do igarapé, apresentada basicamente como uma superfície côncava. Essa diferença é decorrente do uso da ferramenta "*Fill Sinks*", necessária no processo de edição de MDEs, visa preencher pequenas imperfeições nos dados da superfície, tratadas como ruídos.

Essa constatação na formação do relevo de microescala do raster é uma limitação associada ao tamanho do pixel da imagem. Para uma melhor definição de um pequeno corpo hídrico, tal como o da Seção 2, seria necessários pixels de pelo menos 1 m * 1 m.

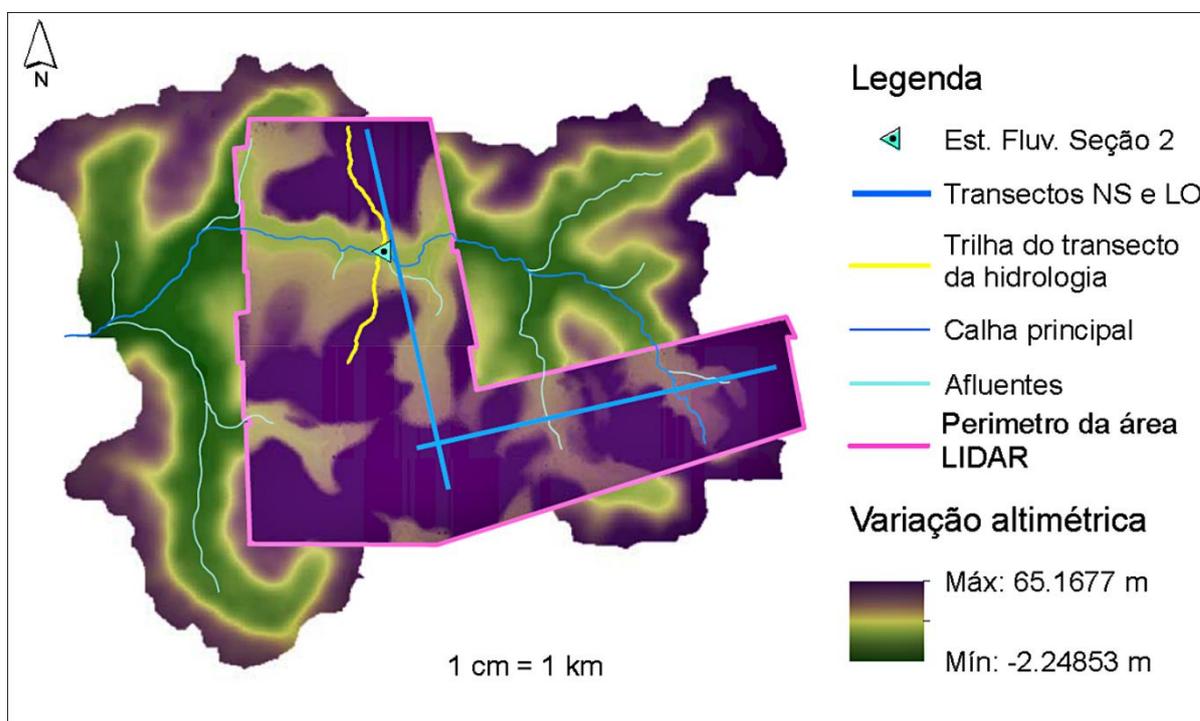
Figura 16 - Apresentação da variação do relevo do transecto de monitoramento freático da Seção 2 da BEIA. O ponto 0 corresponde ao Z0 da régua limnimétrica (RL) e o ponto final corresponde ao local da torre K34, trecho de 816 m com desnível aproximado de 46,8 m. A primeira curva foi formada com dados polares coletados com sensor a *laser*. A segunda curva é resultante do MDEHC desenvolvido para estimativa morfométrica da BEIA.



A definição de *pixels* de 100 m² decorreu-se de que grande parte da Seção 2 não ser coberta pelos dados LiDAR, conforme sobreposição na Figura 17. A área representada apenas pelos dados SRTM, após processamento para pixels de 1 m * 1 m, não apresentaria detalhes do relevo por não ter valores interpolados, enquanto a área coberta pelo LiDAR apresentaria riqueza de detalhes, gerando um raster desuniforme e pouco útil para a escala espacial da BEIA, já que apresentaria irregularidades na continuidade dos traços da rede de drenagem.

Nesse contexto, decidiu-se por células de 10 m * 10 m, entendendo após testes, que houvessem melhorias significantes na análise morfométrica da bacia, considerando que na ausência dos dados LiDAR teríamos apenas os dados SRTM de 900 m² / pixel.

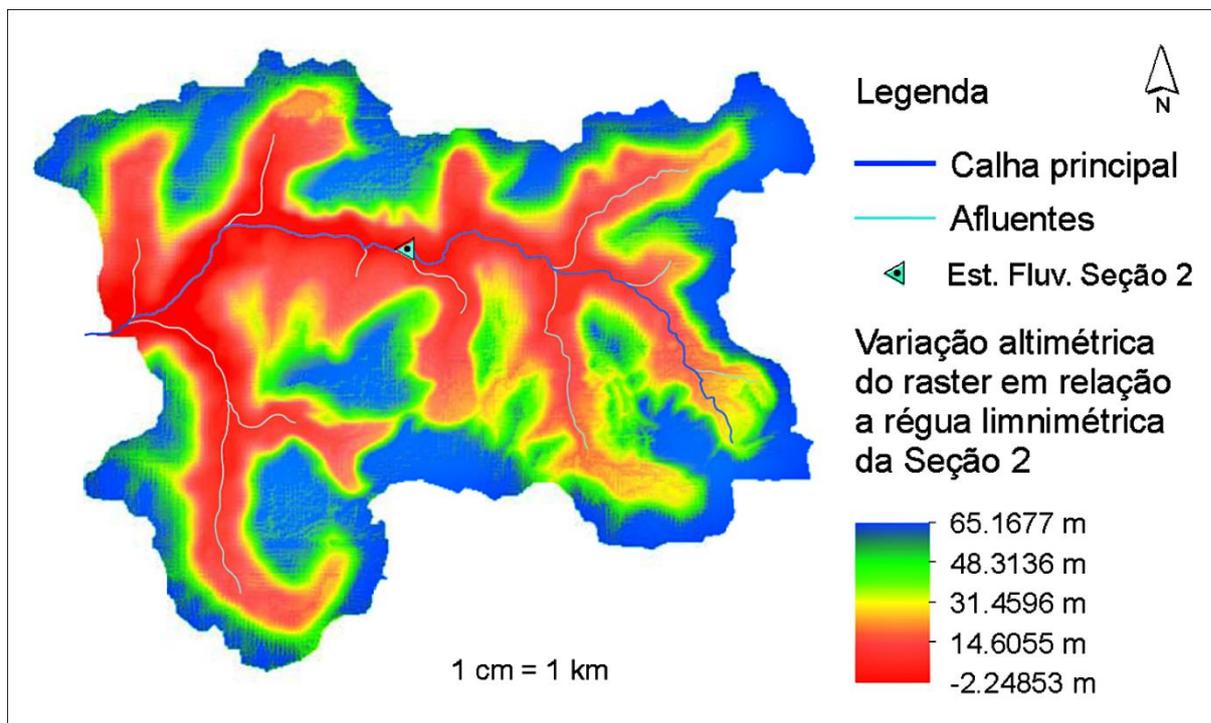
Figura 17 - Apresentação da área escaneada pela tecnologia LiDAR, no campo do transecto de estudos florestais do LMF e do transecto hidrológico da Seção 2, representando cerca de 45% da superfície da BEIA.



Outro fator importante na geração do raster da BEIA é o fato dos dados LiDAR representarem o relevo do solo, enquanto que os dados SRTM tem nos valores verticais dos seus pixels a rugosidade do dossel da floresta, situação que desfavorece análises altimétrica de pequenas bacias. As interpolações dos dados por meio da função *Kriging* do ArcGis, aproximou os valores Z dos pixels SRTM aos dos valores dos pixels LiDAR, tanto na Seção 1, onde nasce o Igarapé Ambrósio, como na Seção 2, onde mediu-se o gradiente topográfico do relevo (Figura 16).

O raster desenvolvido para análise morfométrica pode ser visto na Figura 18, Por ser a Seção 2 o principal objeto de estudo deste Trabalho, a definição do matiz de cores do relevo do MDEHC teve sua classificação definida pela referência da posição do zero da régua limnimétrica, ponto mais baixo da superfície da referida Seção hidrológica, ficando toda declividade a jusante com valores negativos, e os aclives a montante, como positivos.

Figura 18 - Modelo Digital de Elevação desenvolvido para análise morfométrica da Seção 2 da BEIA.



4.2 Análise Morfométrica da Seção 2

A amplitude entre alturas da topografia da Seção 2 é de 65 m, tendo como topo o divisor de águas no cume da sub-bacia da Seção 1, e o ponto mais baixo a Estação Fluviométrica da Seção 2. Consequentemente, a altitude média é de 32,5 m.

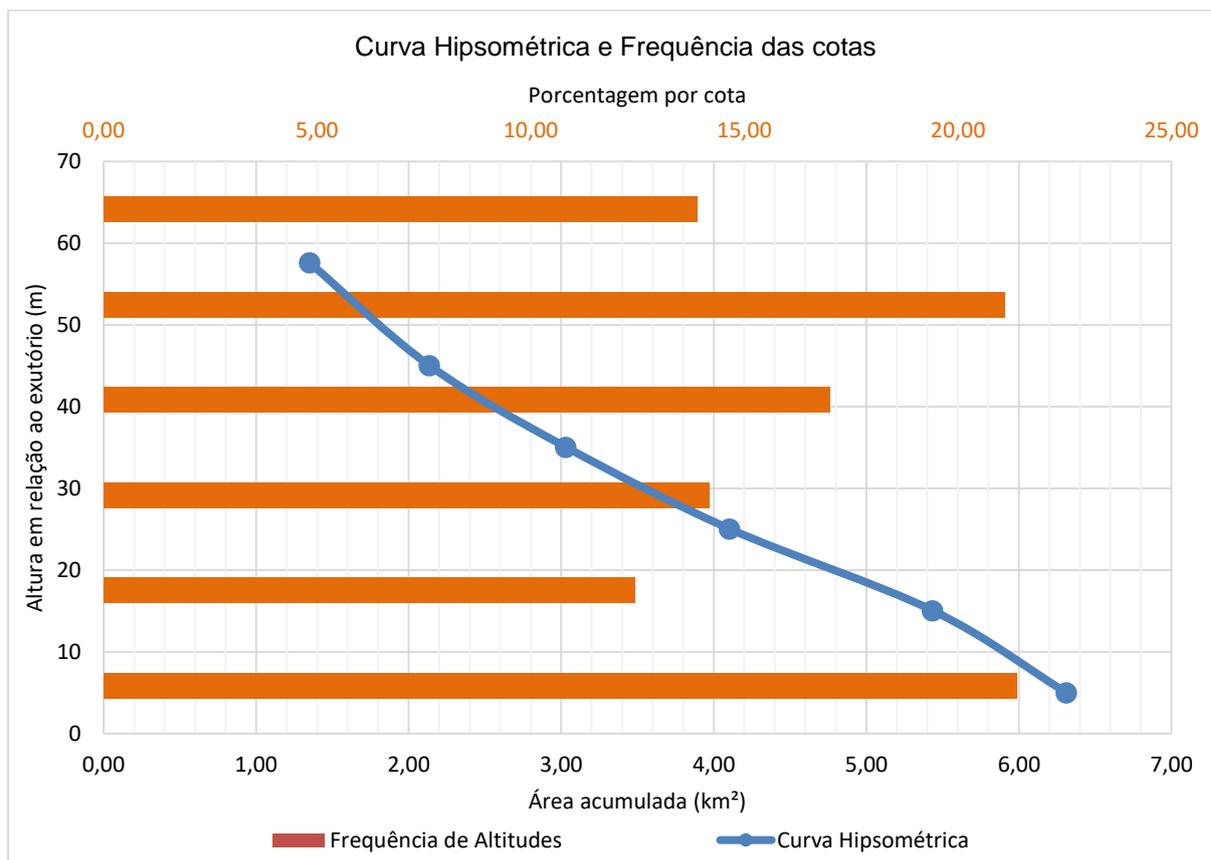
A primeira ferramenta de constatação da variação e distribuição espacial da altimetria da bacia é a curva hipsométrica, apresentada na Figura 19. Esta é resultante de informações que relacionam área e relevo. Através dela constatou-se que cerca de 34% da superfície da Seção 2 está acima de 50 m da régua limnimétrica, representando as zonas mais altas da área de platô.

As encostas representam a menor proporção da superfície, estando entre as isolinhas de 30 e 40 metros de altura, seu percentual representa cerca de 14% da superfície da Seção 2. O restante, 52%, podem ser considerados como área de planície.

Caracterizada por pouca variação no relevo, a planície representa o perfil da superfície melhor definida no matiz de cores do MDEHC. Nota-se que suas medidas aumentam conforme o curso principal se distancia da nascente.

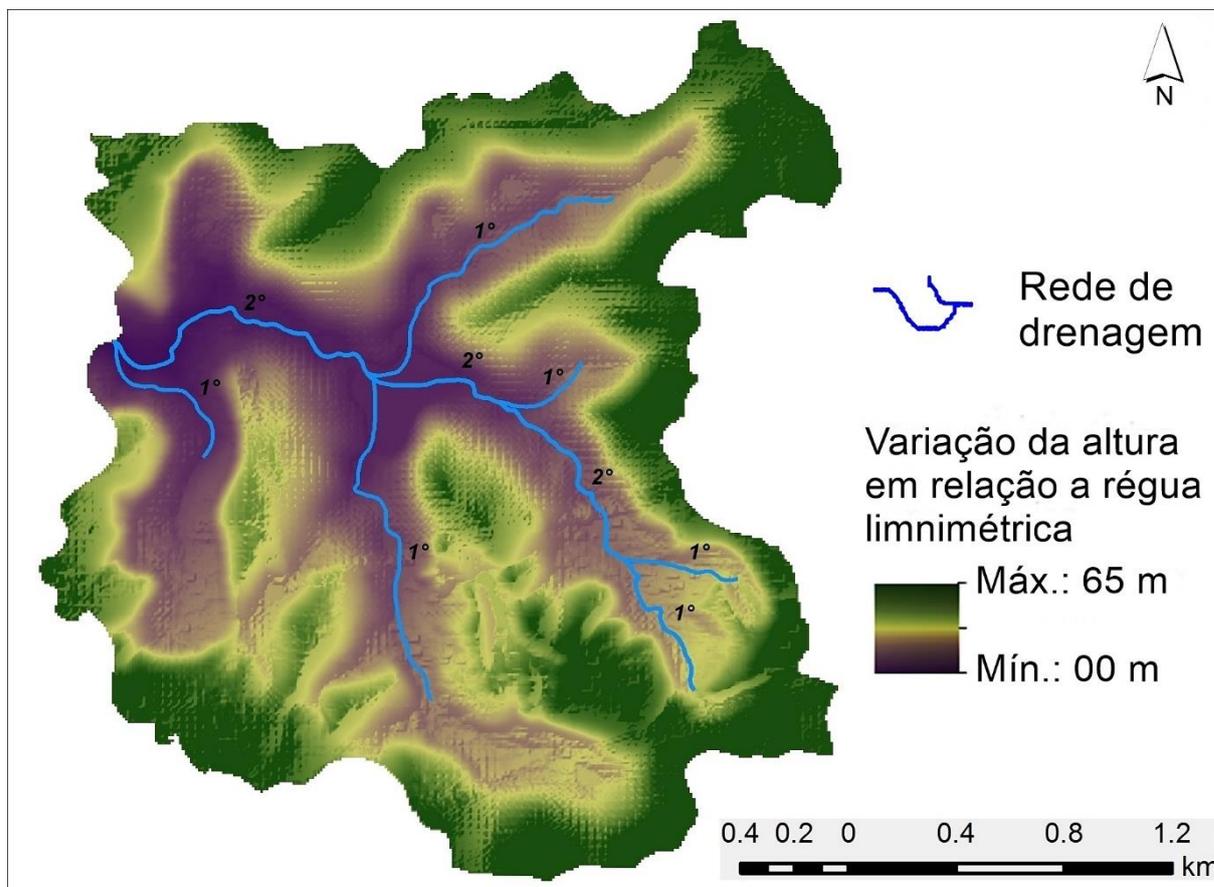
Em contraposição às dimensões das planícies, a inclinação das encostas é maior nas sub-bacias, onde o percentual de inclinação chega a 100%, enquanto que na Seção 2 o percentual máximo é de 20% (Figura 19).

Figura 19 - Gráfico hipsométrico da Seção 2 da BEIA.



O uso do MDEHC permitiu uma percepção mais detalhada da rede de drenagem da Seção 2. Algumas observações implicaram na necessidade de visitas *in loco*, a exemplo: um curso de 1º ordem não apontado em publicações de estudos anteriores nas Seções da BEIA (TRANCOSO 2006; TOMASELLA 2007; CUARTAS 2012). Trata-se de um afluente que nasce em uma bipartição abaixo de uma zona influente próxima da encosta direita da sub-bacia da Seção 1. Seu curso é permanente, variando de formações alagadiças a calhas definidas pelo fluxo da água. Sua confluência ocorre a cerca de 500 metros após o afloramento do curso principal do igarapé Ambrósio, pelo menos 300 m antes da estação fluviométrica dessa Seção hidrológica. O reordenamento da drenagem da Seção 2 pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Redefinição do ordenamento da rede de drenagem da BEIA, conforme proposta de Strahler (1964).



O conhecimento *in loco* das nascentes dos afluentes, adicionado da ferramenta “*Stream Definition*”, do ArcGis, contribuiu para a demarcação e estimativa do comprimento da rede de drenagem, apresentados com outros índices morfométricos na Tabela 14.

Os índices morfométricos apontam características que definem a Seção 2 da BEIA como de drenagem regular, conforme classificação de Villela e Mattos (1975) para o (D_d), por ser entre 0,5 km/km² e 1,5 km/km². Ainda segundo classificações do autor, o fator de forma (K_f) entre 0,75 e 0,5 indica tendência mediana de enchentes na bacia. Essa mesma classificação está para o índice de compacidade (K_c), porém, no limite para a consideração de risco de grandes enchentes, 1,25 e 1,5.

Tabela 14 - Variáveis morfométricas da Seção 2 da BEIA.

Índice	Resultado
Área de captação (A)	6,3103 km ²
Perímetro (P)	13,515 km
Fator de forma (Kf)	0,548
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,506
Densidade de drenagem (Dd)	1,177
Declividade da bacia (S)	0,011/1 m/m
Ordenamento final	2°
Número de canais	5
Comprimento do canal principal (L)	3,285,2 m
Comprimento total dos canais (L_t)	7.428,72 m

4.3 Análise dos Dados Pluviométricos

Os valores brutos das estações pluviométricas da BEIA, registrados nos anos de 2015 e 2016, variáveis da análise de Dupla Massa, estão disponíveis nas Tabelas 15 e 16, respectivamente. Os campos sem dados correspondem aos meses que os instrumentos não estavam ativos.

Os resultados foram satisfatórios para ambos os anos. As curvas dos gráficos apresentaram elevados graus de homogeneidade entre os dados das estações, conforme apresentação da Figura 21, para os dados de 2015, e na Figura 22, para os dados de 2016.

Após análise de consistência dos dados da rede, estes foram submetidos ao critério do Mínimo Intervalo de Tempo de 20 minutos e à Lamina Mínima Precipitada de 1mm. A filtragem resultou em 104,8 mm de registros espúrios para o ano de 2015, equivalendo a 4,47% do total registrado. Para 2016, a altura descontada foi de 71,35 mm, ou 3,6% do total do ano.

Tabela 15 - Dados acumulados mensais da rede pluviométrica da BEIA em 2015 (sem submissão aos critérios do MIT e LMP).

Mês	S1	S2	T1	T3	T5	T8	T9	Média mensal da rede (mm)	Acumulado anual (mm)
	total mês (mm)								
janeiro	-	331,40	-	-	-	-	-	331,40	331,40
fevereiro	-	152,60	-	-	-	-	-	152,60	484,00
março	255,40	341,60	-	464,00	-	-	-	353,67	837,67
abril	249,80	253,60	-	373,20	-	-	-	292,20	1129,87
maio	445,60	395,00	-	619,40	-	-	-	486,67	1616,53
junho	199,60	189,60	-	330,40	-	-	-	239,87	1856,40
julho	124,20	132,20	-	124,80	-	-	138,60	129,95	1986,35
agosto	45,40	44,80	-	53,00	28,00	-	40,60	42,36	2028,71
setembro	58,60	60,40	-	28,20	22,40	-	33,40	40,60	2069,31
outubro	46,80	41,80	-	27,00	94,20	-	95,00	60,96	2130,27
novembro	196,80	221,20	-	140,40	128,20	-	190,00	175,32	2305,59
dezembro	36,20	42,40	34,20	33,00	50,40	36,4	44,60	39,60	2345,19

Tabela 16 - Dados acumulados mensais da rede pluviométrica da BEIA em 2016 (sem submissão aos critérios do MIT e LMP).

2016	S1	S2	T1	T3	T5	T7	T8	T9	Média mensal da rede (mm)	Acumulado anual (mm)
Mês	total mês (mm)									
janeiro	52,60	54,00	55,40	53,40	26,20	-	50,60	61,80	50,57	50,57
fevereiro	191,00	174,40	172,00	130,60	148,80	122,00	163,20	155,80	157,23	207,80
março	295,80	289,60	297,20	277,20	310,00	228,40	255,60	266,00	277,48	485,27
abril	264,40	270,20	246,60	224,80	230,60	229,20	216,40	227,80	238,75	724,02
maio	159,00	149,00	163,20	133,60	207,40	154,80	171,00	170,00	163,50	887,52
junho	173,54	226,20	219,00	-	178,60	151,64	174,00	191,80	187,83	1075,35
julho	129,08	136,20	129,20	-	198,00	108,20	118,60	125,00	134,90	1210,24
agosto	94,80	78,80	95,80	-	72,60	77,47	83,80	87,40	84,38	1294,63
setembro	99,00	85,40	118,40	-	123,80	105,66	118,40	132,20	111,84	1406,46
outubro	140,20	132,80	153,80	-	178,80	159,51	148,80	174,20	155,44	1561,91
novembro	114,80	96,00	94,60	-	42,20	72,64	68,80	78,80	81,12	1643,03
dezembro	347,80	280,20	381,60	-	371,00	360,43	312,00	339,00	341,72	1984,75

Figura 21 - Gráficos da análise de Dupla Massa dos dados das estações pluviométricas da BEIA em 2015.

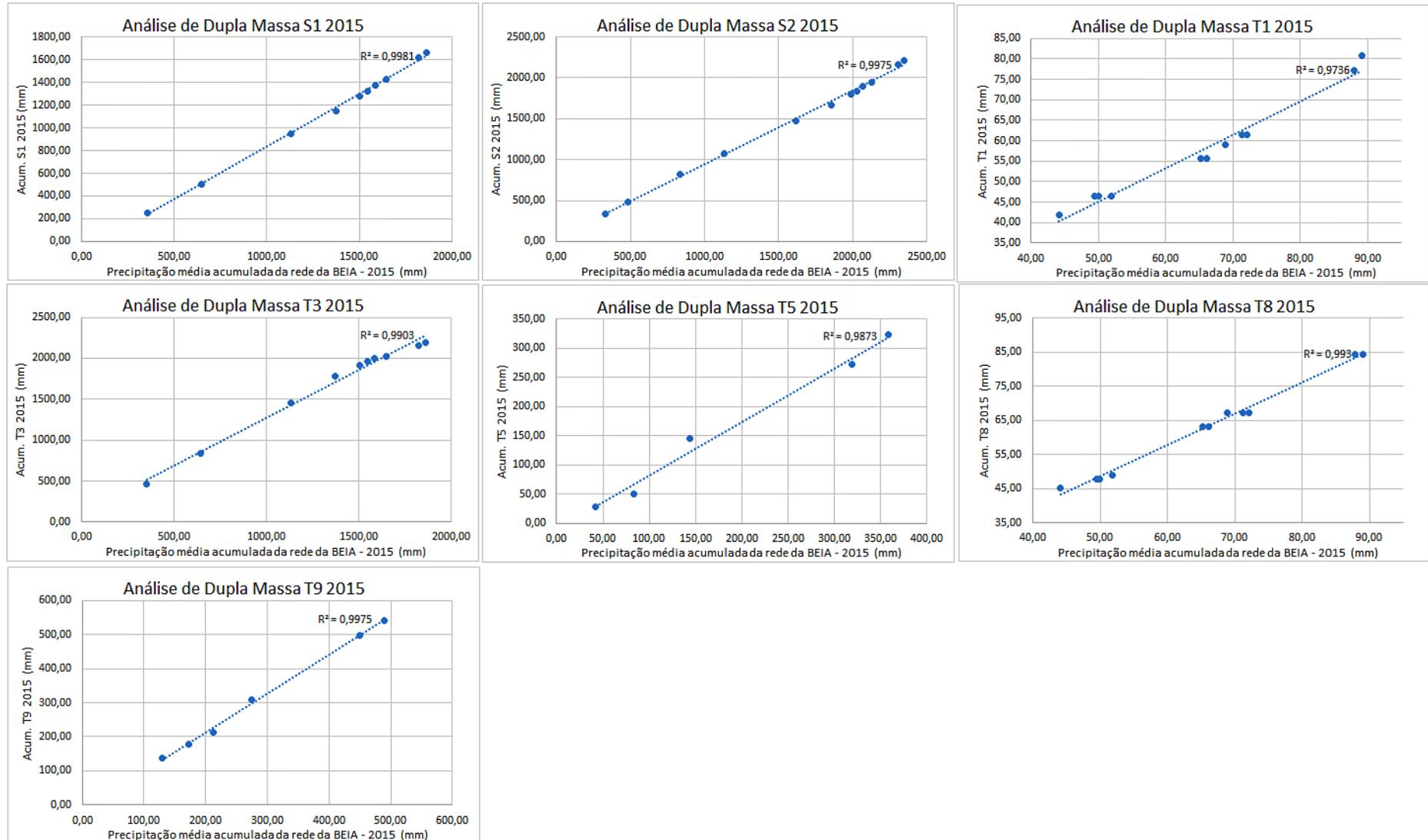
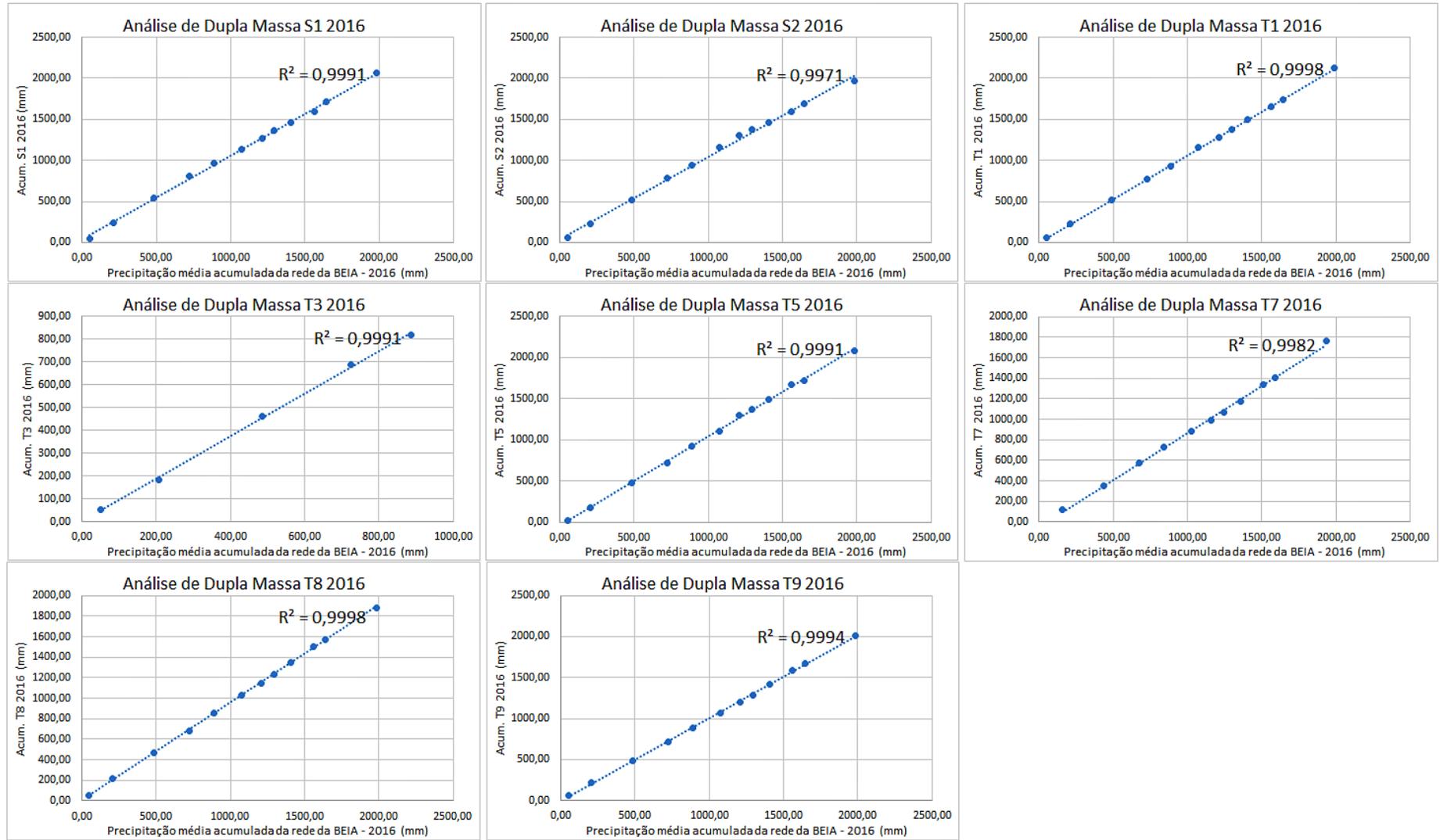


Figura 22 - Gráficos da análise de Dupla Massa dos dados das estações pluviométricas da BEIA em 2016.



O índice pluviométrico da BEIA no ano de 2015 resultou em 3.296,8 mm distribuídos durante 190 dias que tiveram registros de chuva. Os resultados da análise da distribuição pluviométrica apontaram que mais de 2/3 da altura anual ocorreu entre janeiro e junho, sendo maio o mês com maior acumulado, 437,15 mm, equivalente a 13,25% do total do ano. A média pluviométrica nos dias de chuva foi de 17,35 mm

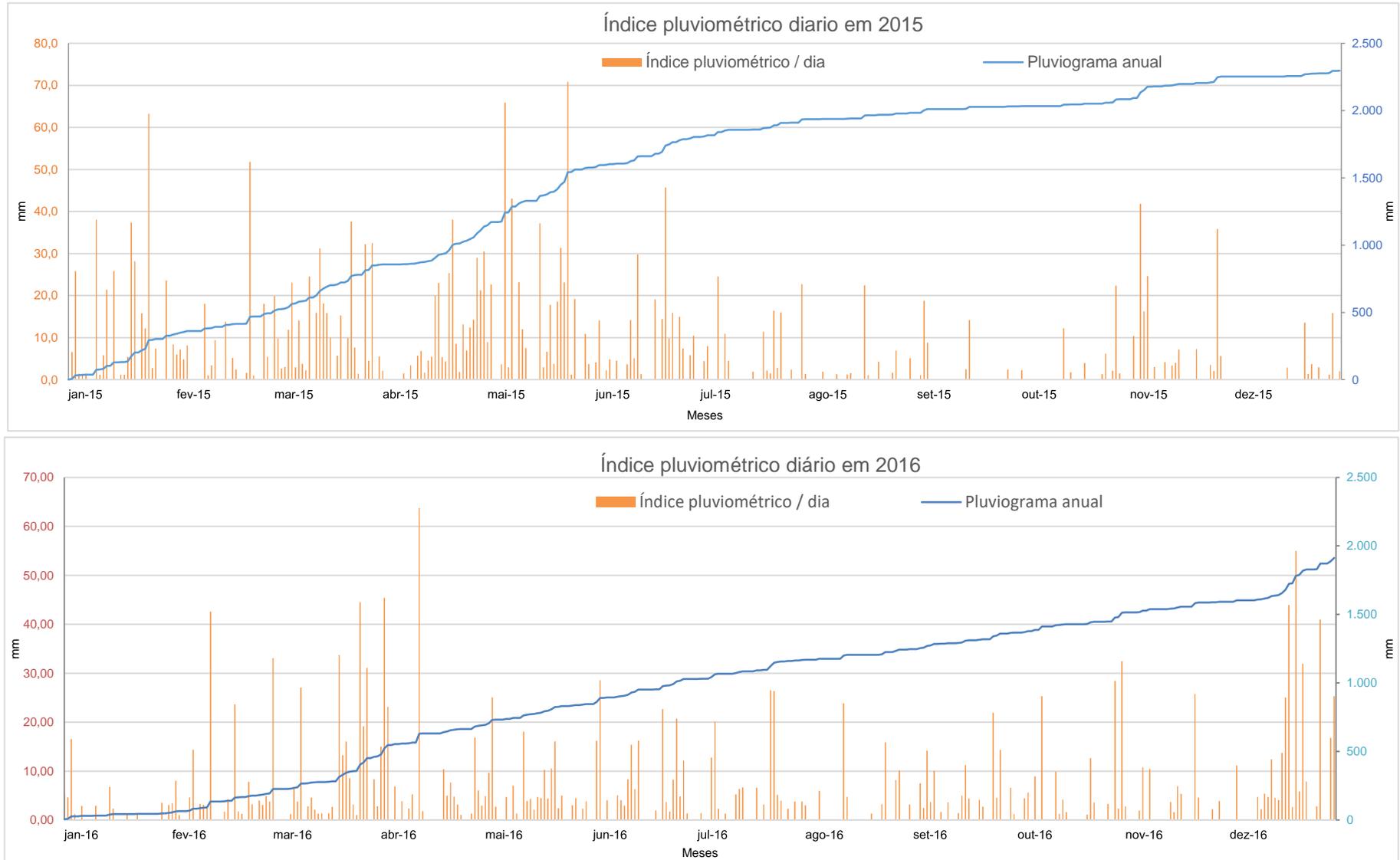
Em 2016 o índice pluviométrico da rede foi de 1.913,4 mm. Os registros apontam ocorrências pluviométricas em 207 dias, com distribuição média de 9,2 mm / dia. A precipitação no primeiro semestre foi equivalente a 54% da pluviometria anual, que se contrasta com o fato de 36,32 % da altura precipitada no segundo semestre ter ocorrido somente no mês de dezembro, 321 mm, conforme a Figura 23, com os hietogramas diários e pluviogramas anuais dos índices pluviométricos da BEIA.

As relações dos números dos índices pluviométricos mensais da BEIA podem ser observadas através da Tabela 17, com detalhes de acumulado gradual e as variações dos percentuais mensais de cada ano.

Tabela 17 - Índice pluviométrico mensal nos anos de 2015 e 2016.

Mês	2015			2016		
	mm	Σ anual	%	mm	Σ anual	%
Jan	335,72	335,72	14,62	51,76	51,76	2,71
Fev	157,30	493,02	21,47	142,47	194,24	10,15
Mar	361,31	854,33	37,20	269,45	463,69	24,23
Abr	285,20	1139,53	49,61	226,62	690,31	36,08
Mai	437,15	1576,68	68,65	155,12	845,43	44,18
Jun	227,42	1804,10	78,55	184,36	1029,79	53,82
Jul	131,07	1935,17	84,25	137,70	1167,49	61,02
Ago	47,58	1982,75	86,33	79,40	1246,89	65,17
Set	47,68	2030,43	88,40	120,71	1367,60	71,47
Out	53,61	2084,05	90,74	144,96	1512,55	79,05
Nov	169,31	2253,36	98,11	79,87	1592,43	83,22
Dez	43,48	2296,84	100,00	321,00	1913,42	100,00

Figura 23 - Visualização dos hietogramas diários e pluviogramas anuais dos anos de 2015 e 2016.

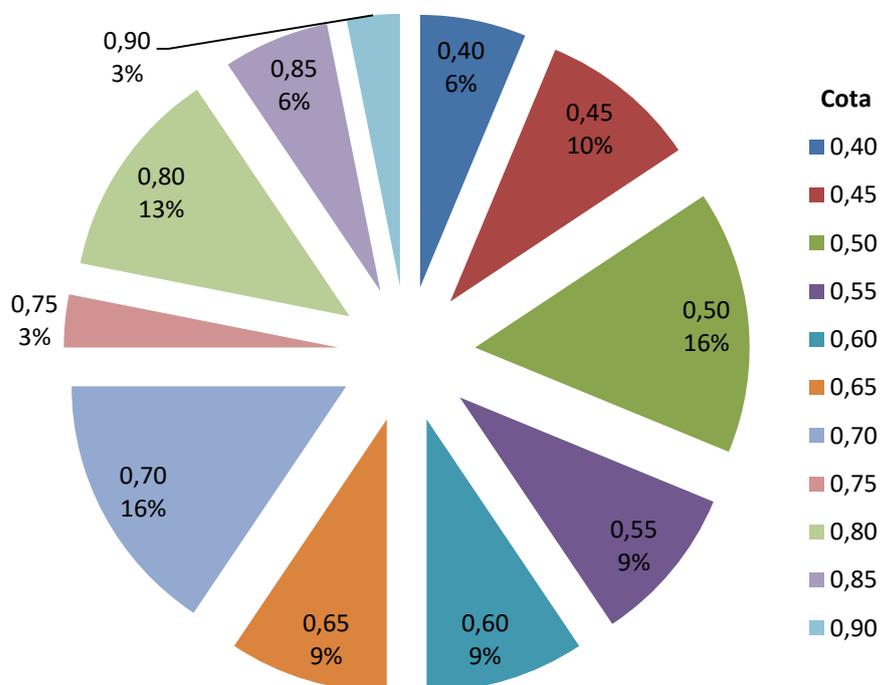


4.4 Fluviometria

4.4.1 Descargas Observadas

A série de descargas observadas, obtidas pelo método de dissolução química, foram usadas como referência para ajuste da curva de relação cota/descarga. A frequência das 33 amostras válidas para os anos de 2015 e 2016 está apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Frequência de cotas nas atividades de descargas observadas e usadas para geração da Curva Chave da Seção 2.

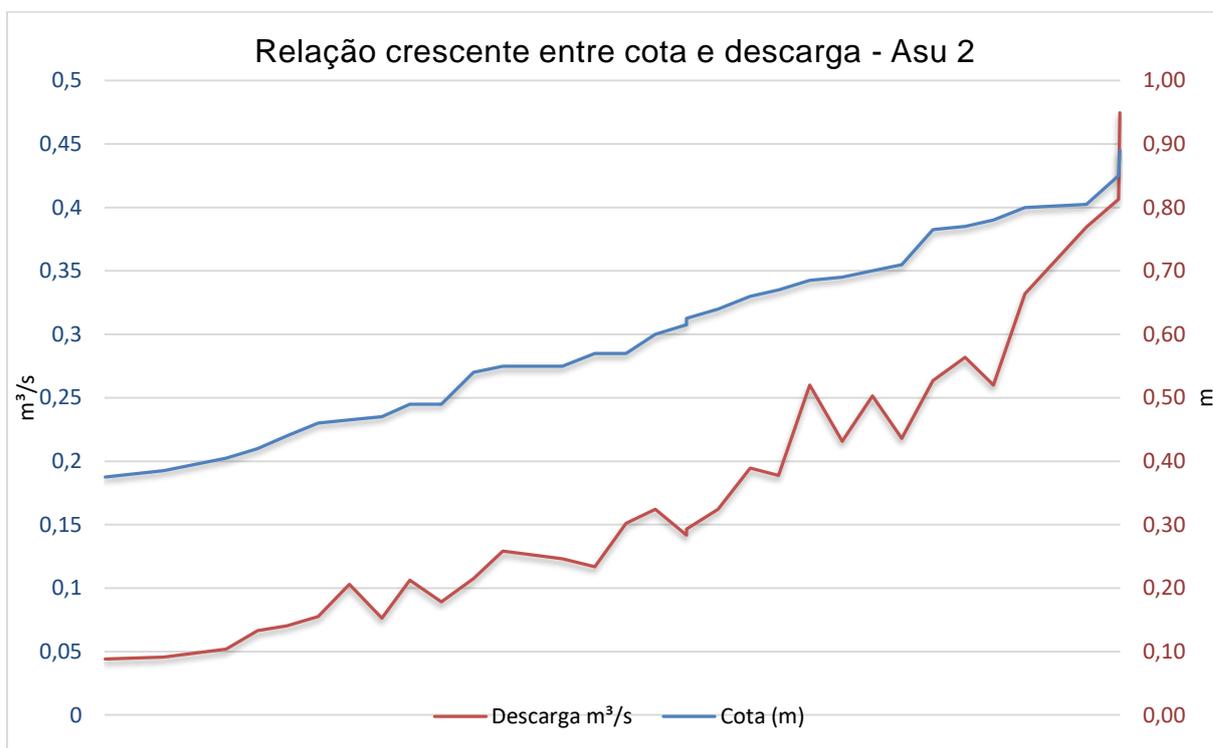


Embora as cotas máximas orbitem entre 0,8 m e 0,9 m, a estimativa da vazão na Seção 2 afronta-se com a extrapolação da curva-chave, ocorrência associada aos eventos pluviométricos mais longos ou intensos.

A análise dos pares de cota/descarga, por meio dos gráficos, indicou que o transbordo da calha da estação fluviométrica da Seção 2 ocorre a partir da cota 0,87 m. conforme Figura 25. A definição da cota crítica estabelece o critério mínimo de margem de erro para aplicação da fórmula da parábola de regressão linear.

Figura 25 - Análise gradual da relação cota/descarga das amostras aplicadas na geração da

curva-chave.



4.4.2 Ajuste da Curva-Chave com Índice de Rugosidade de Manning

Na primeira fase da avaliação dos resultados obtidos com uso do (n) médio, observou-se que a inclusão da curva se ajusta ao ramo crescente de uma equação potencial para $Q_{calc}(n)$, em que o valor de n aumenta com a cota limnimétrica, majorando a distância da variável Q_{obs} quando se aproxima da cota 0,87 m. Essa relação também é apresentada para a variável $Q_{calc}(cc)$, porém, em menor expressão. Isso está associado ao ponto de intersecção de ambas variáveis com a referência Q_{obs} , de R^2 igual a 1, por ser ela o agente Estimador, conforme a Figura 26.

A observação do gráfico revela que a suavização da curva $Q_{calc}(n)$ se dá quando a cota se aproxima de 0,57 m. Situação advertida no perfil transversal da secção, onde há alteração no padrão batimétrico, conforme a Figura 27.

Essa escala métrica da geometria da área molhada alterou os efeitos resistivos influenciando a linha de tendência. O resultado evidenciou a subestimação de vazões mínimas, assim como, na superestima para as cotas maiores.

Figura 26 - Gráfico de distribuição das amostras de Q_{obs} , $Q_{calc}(n)$ e $Q_{calc}(CC)$ em relação

a Cobs.

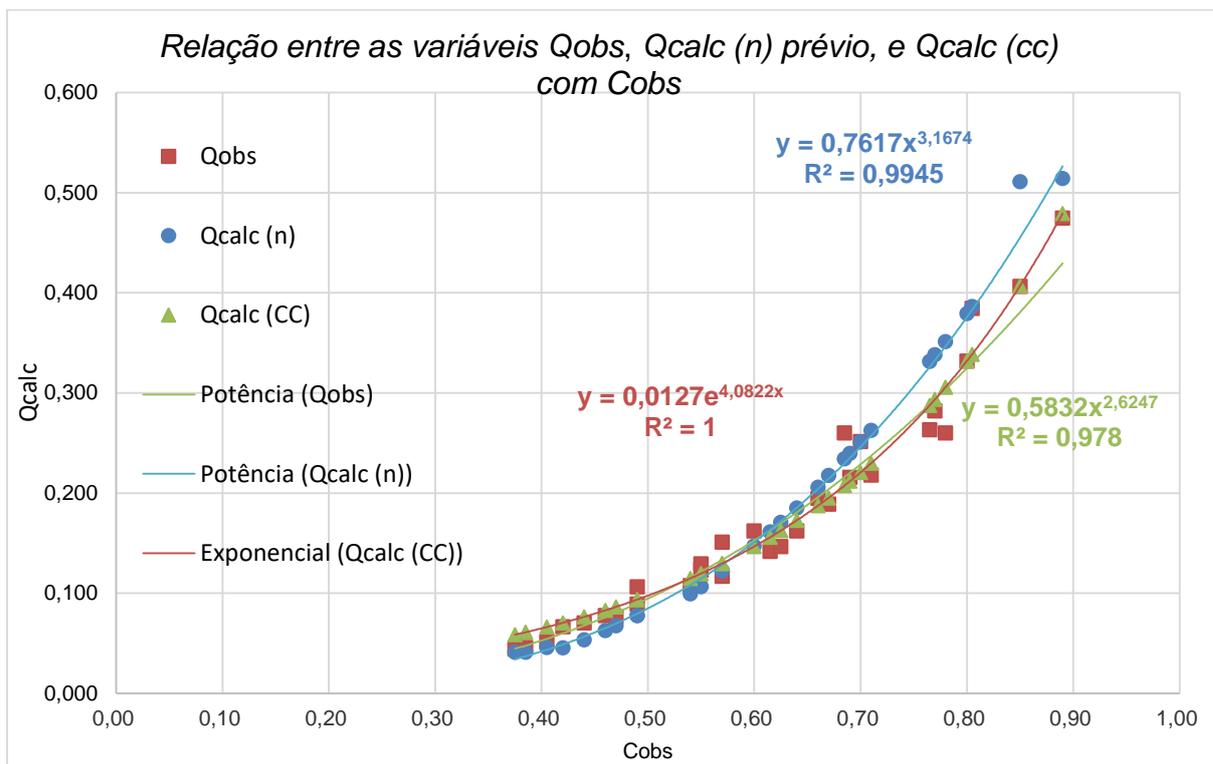
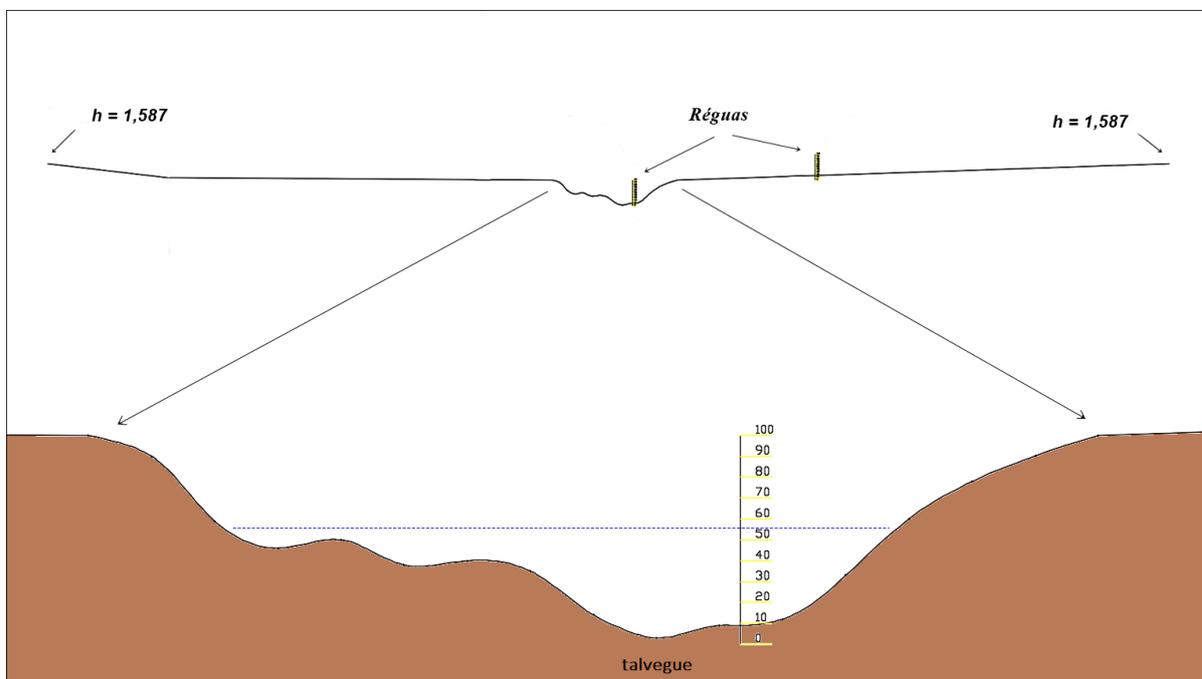


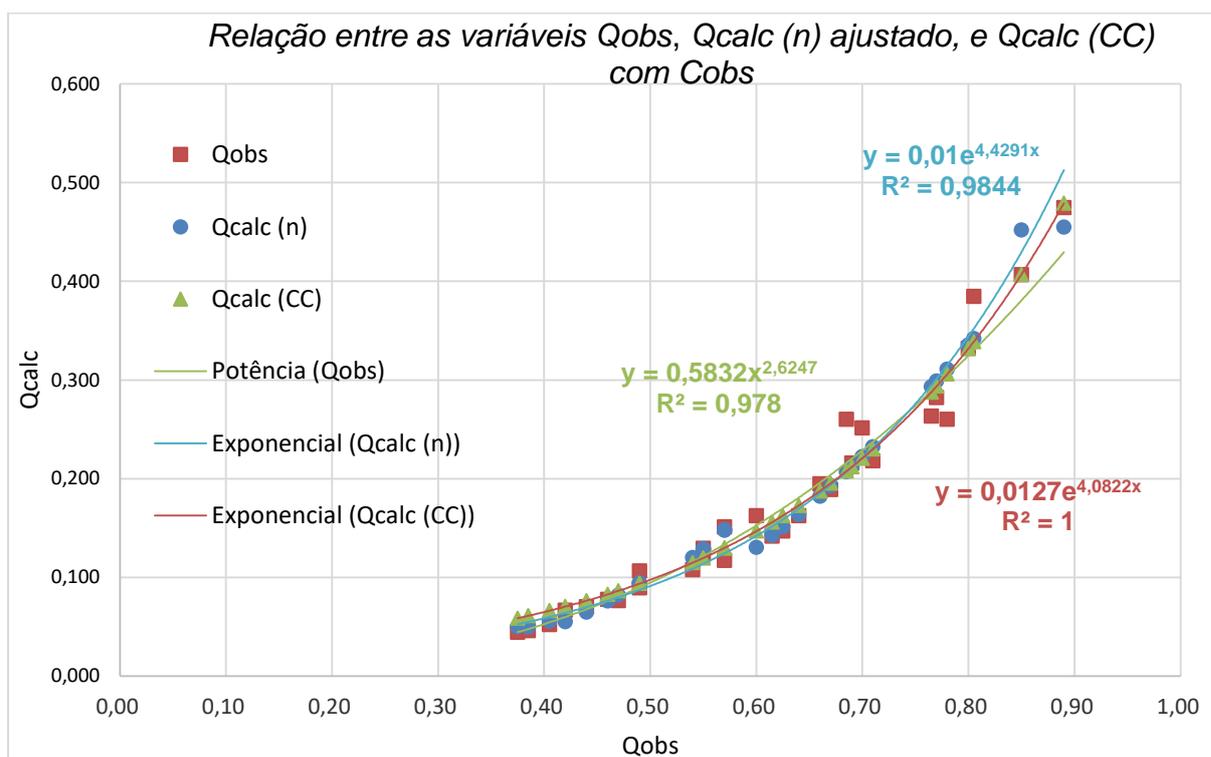
Figura 27 - Secção batimétrica da Seção 2.



Diante do exposto, após testes de ajustes da linha de tendência do gráfico de *Qcalc (n)*, optou-se pela adoção de dois coeficientes, sendo um de valor 0,04359 para cotas inferiores a 0,57 m, e o coeficiente de valor 0,0595 para as cotas acima de 0,58

m. Os ajustes resultaram em menores diferenças tanto em cotas baixas quanto para as mais altas, gerando um gráfico mais alinhado com o Estimador (Qobs), conforme apresentação na Figura 28.

Figura 28 - Evolução do gráfico Qcalc (n), em relação ao estimador (Qobs), obtido a partir do ajuste de dois coeficientes de rugosidades.



A exponencial resultante das amostras calculadas com os coeficientes ajustados, promoveu uma linha de tendência mais adaptada ao Estimador, evidenciando maior homogeneização dos dados, conforme R2 de 98,44 %, enquanto para o R2 de Qcalc (cc) o valor foi de 97,8 %. A boa representatividade das estimativas no n variável é ainda confirmada pelos índices dos erros calculados, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Erros estimados para Qcalc (n) e Qcalc (cc).

Parâmetro	n (m³)	Cc (m³)
EMA	-0,00043388	-0,00113096
EQM	0,01521221	0,01424650

A observação das variações nos erros, quando combinadas à apresentação gráfica, explicam o EMA maior e negativo para a variável Q_{calc} (cc), devido seu distanciamento para baixo da linha do Estimador em cotas maiores, sugerindo subestimação das vazões altas.

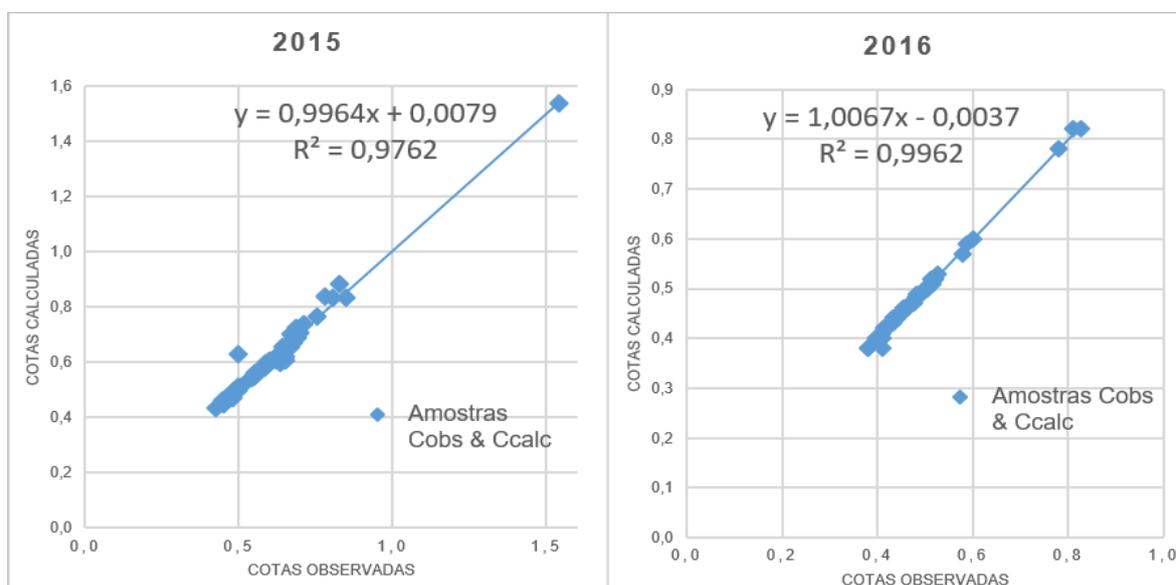
Em relação EQM, os valores para ambas variáveis são muito próximos, indicando que o enviesamento, ou vício, para Q_{calc} (cc) e Q_{calc} (n) são parecidos

A indicação de que a curva de Q_{calc} (n) se afasta da Q_{obs} nas maiores cotas não desfavorece o uso do n variável, já que o n é obtido por meio de parâmetros geométricos do canal, enquanto o método do Traçador, meio pelo qual gerou-se o Estimador, tem sua precisão comprometida a medida em que a distribuição e o fluxo da água sofre maiores variações sob a condição de várzea, devido a má distribuição da solução química no corpo hídrico.

4.4.3 Análise dos Cotagramas

A certificação das cotas calculadas (C_{cal}) para os anos estudados foram feitas por meio de correlação com as cotas observadas (C_{obs}) semanalmente pela equipe de hidrologia do Programa LBA. Para o ano de 2015 usou-se 50 C_{obs} . Para a série anual de 2016, foram usadas 49 C_{obs} . Os resultados tiveram correlação positiva, indicando a variante unidirecional das séries, conforme apresentado nos gráficos da Figura 29.

Figura 29 - Correlação entre cotas observadas e cotas calculadas dos anos de 2015 e 2016.



Sobre a composição das séries anuais registradas pelo sensor de pressão, ambas apresentam lacunas nos registros, fato decorrente de erros nos dados ou ausência dos mesmos para este Trabalho, sendo os períodos: 01/01 – 10/04/2015; 06 - 21/05/2015; 27/06 - 27/07/2016; 30/08 - 20/09/2016.

As lacunas de 2015 somaram 113 dias, registrando um total de 12.075 leituras. Já em 2016, foram 15.125 registros, sendo 51 dias sem dados. Os cotogramas estão apresentados na Figura 30.

Apesar das falhas, os números permitem uma breve análise comparativa entre os anos. A composição dos dados de *Ccalc* em uma única série anual tendeu a avaliação visual da variação dos níveis de água em decorrência das estações dos anos estudados. Evidenciam-se a ocorrência das maiores cotas nos primeiros semestres dos anos, temporada de maior frequência e volume pluviométrico.

Todas as variáveis indicatórias de volume foram maiores em 2015. A amplitude entre as máximas dos anos ficou próxima de 0,26 m, conforme a Tabela 19. Considerando-se que os registros começaram em 09/04/2015, é possível que tenham ocorridos cotas acima de 1,587 m nesse ano.

Tabela 19 - Variáveis indicatórias das cotas do Asu 2 nos anos de 2015 e 2016.

Variável	2015	2016
Máxima	1,587	1,333
Mínima	0,406	0,376
Média	0,611	0,509
Desvio padrão	0,152	0,130
Variância	0,023	0,017

Os valores das cotas mínimas também foram menores em 2016. Pelo menos 43% dos registros estiveram abaixo de 0,44 m. De modo geral, pouquíssimas vezes a cota passou de 0,64 metros nesse ano. Menos de 9% das amostras estiveram acima de 0,65 m, enquanto que em 2015, valores acima dessa mesma cota representam quase 34% dos registros. A Tabela 20 expõem os dados de frequência das cotas limnimétricas.

Se tratando da cota crítica, em 2015 pelo menos 900 registros, equivalente a 13.500 minutos, estiveram próximos ou acima de 0,87 m. Para essa mesma cota em 2016 houveram 429 registros no sensor de pressão, equivalendo a 6.425 minutos.

Figura 30 - Variação das cotas geradas com sensor de pressão da estação fluviométrica da Seção 2 nos anos de 2015 e 2016.

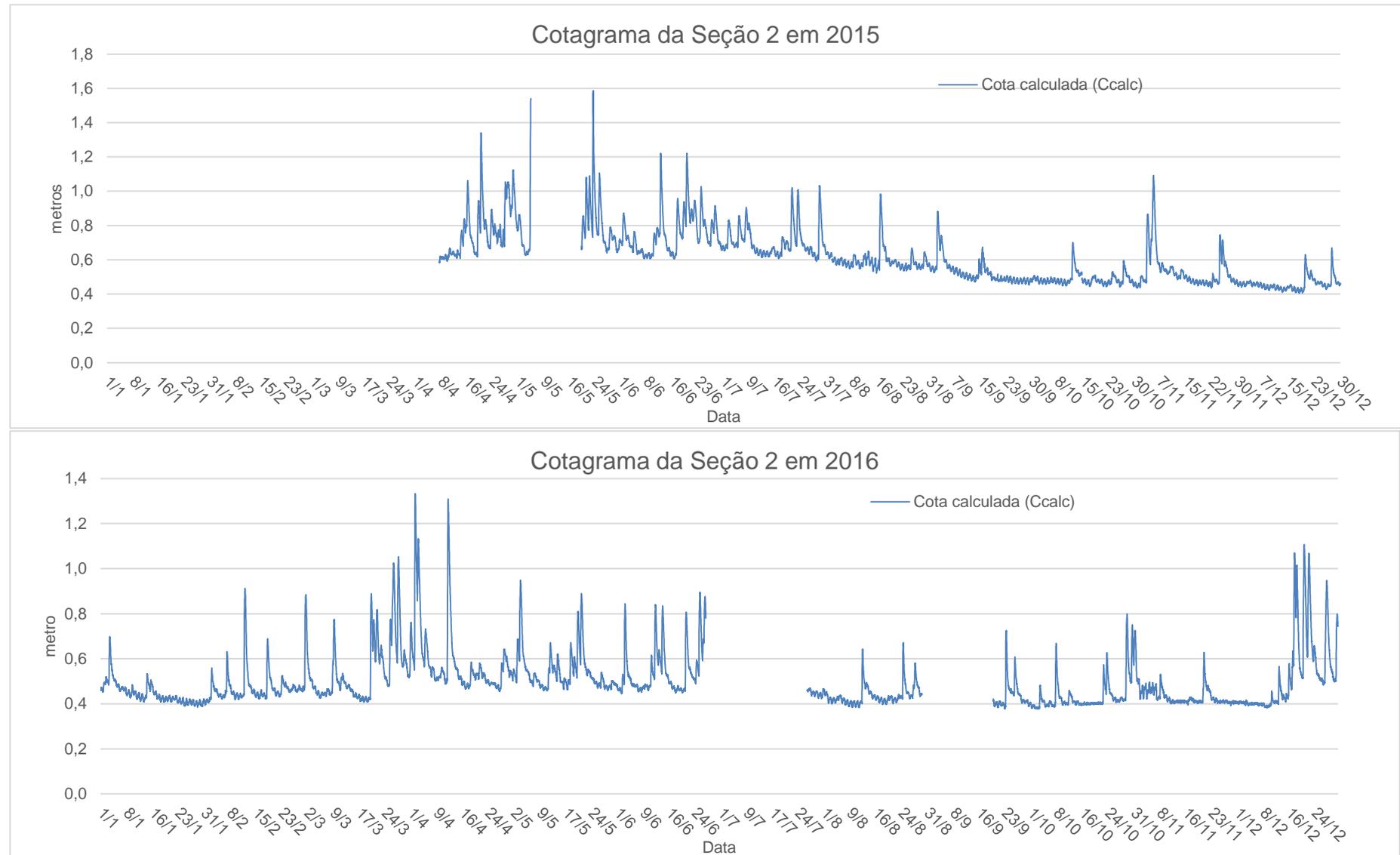


Tabela 20 - Frequência de ocorrência das cotas limnimétricas em 2015 e 2016.

Frequência	2015			2016		
	Ccalc	%	Σ %	Ccalc	%	Σ %
0,35 - 0,39	0	0,00	0,00	1033	6,83	6,83
0,40 - 0,44	799	6,62	6,62	5473	36,19	43,01
0,45 - 0,49	3101	25,68	32,30	3723	24,61	67,63
0,50 - 0,54	1238	10,25	42,55	1977	13,07	80,70
0,55 - 0,59	1349	11,17	53,72	979	6,47	87,17
0,60 - 0,64	1557	12,89	66,62	594	3,93	91,10
0,65 - 0,69	1230	10,19	76,80	326	2,16	93,26
0,70 - 0,74	843	6,98	83,78	219	1,45	94,70
0,75 - 0,79	568	4,70	88,49	215	1,42	96,13
0,80 - 0,84	450	3,73	92,22	157	1,04	97,16
0,85 - 0,89	315	2,61	94,82	143	0,95	98,11
0,90 - 0,94	203	1,68	96,51	87	0,58	98,68
0,95 - 0,99	133	1,10	97,61	60	0,40	99,08
1,00 - 1,04	132	1,09	98,70	52	0,34	99,42
1,05 - 1,09	67	0,55	99,25	37	0,24	99,67
1,10 - 1,14	28	0,23	99,49	18	0,12	99,79
1,15 - 1,19	19	0,16	99,64	7	0,05	99,83
1,20 - 1,24	17	0,14	99,78	7	0,05	99,88
1,25 - 1,29	5	0,04	99,83	10	0,07	99,95
1,30 - 1,34	8	0,07	99,89	8	0,05	100,00
1,35 - 1,39	3	0,02	99,92	0	0,00	100,00
1,40 - 1,44	1	0,01	99,93	0	0,00	100,00
1,45 - 1,49	3	0,02	99,95	0	0,00	100,00
1,50 - 1,54	3	0,02	99,98	0	0,00	100,00
1,55 - 1,59	3	0,02	100,00	0	0,00	100,00

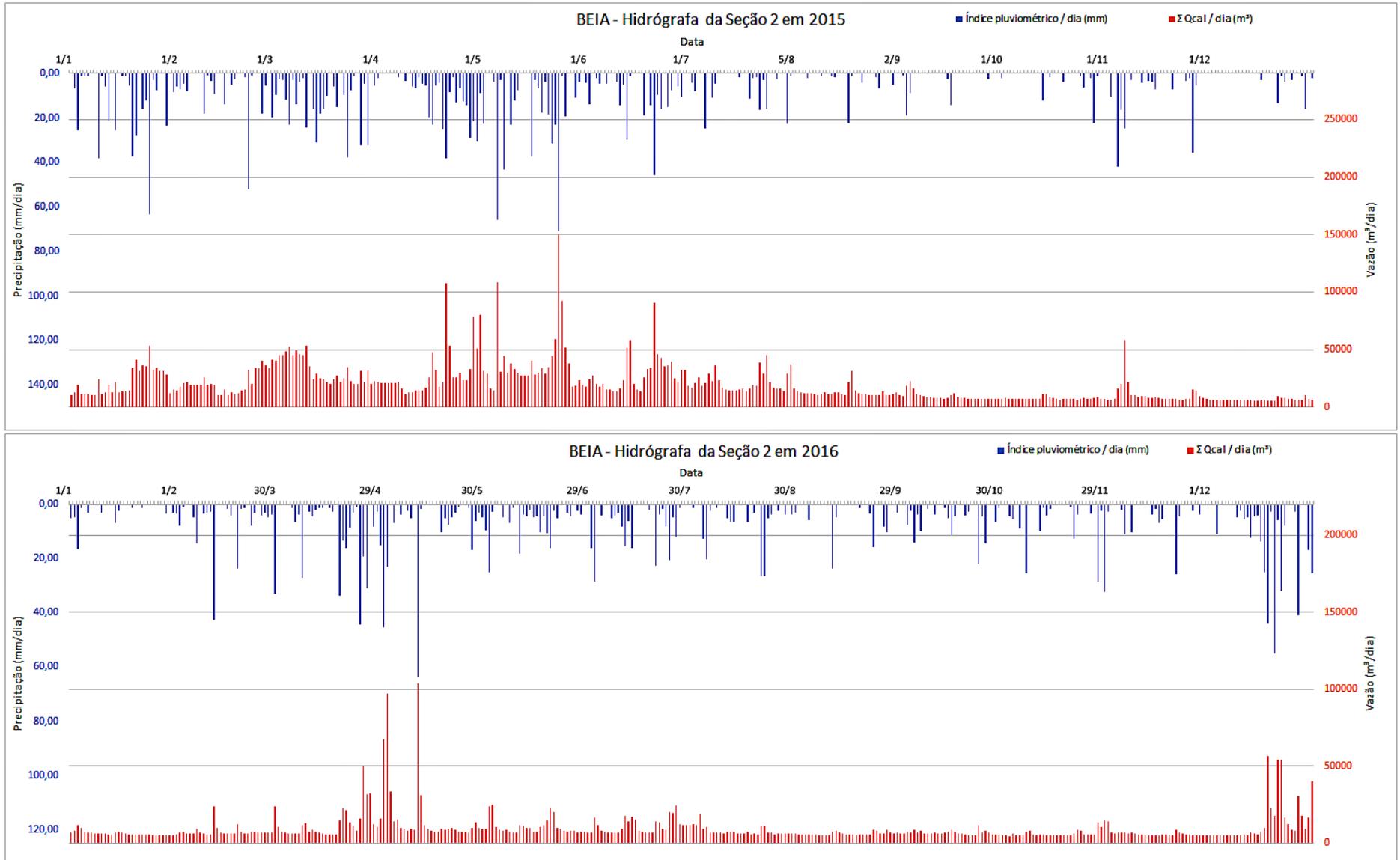
4.4.4 *Análise das Vazões Modeladas*

Em relação ao método Racional de estimativa de vazões máximas (Equação 19), por definição, o coeficiente de C é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (TUCCI, 2015).

Para este Trabalho, definiu-se o coeficiente C baseado na análise prévia da relação chuva/vazão dos períodos de séries registradas. Calculou-se para 2015 a taxa de 0,49, e para 2016 a taxa de 0,305.

Entendendo-se que o caudal que perfaz a secção transversal da Seção 2 não provém em sua totalidade da precipitação, mas também do escoamento de base provido pela zona freática, adicionou-se à vazão modelada pelo método Racional as cotas observadas semanalmente, definindo-as como nível de base constantes correspondentes ao tempo de suas observações, resultando nas hidrógrafas da Figura 31.

Figura 31 - Hidrógrafas dos anos de 2015 e 2016.



4.4.4.1 Análise do Tempo de Concentração

Devido à baixa variação topográfica da superfície da BEIA, com vantajosas áreas de planícies e platôs em formatos tabulares, condições que favorecem a infiltração da água, este Trabalho analisou o tempo de resposta da chuva efetiva em 2 ocorrências pluviais, sendo uma no ano de 2015, de alta intensidade, e outra no ano de 2016, de baixa intensidade. Além da intensidade, outro importante critério para escolha dos eventos pluviométricos foi a relação entre altura precipitada e a vazão ocorrida.

Na data de 24/05/2015 registrou-se uma precipitação média de 70,09 mm na BEIA. O maior registro foi no Pluvi T3, com 94,2 mm. Nessa estação pluviométrica a chuva iniciou as 18 horas e 10 minutos, durou 53 minutos, tendo intensidade máxima de 204 mm/h e média de 104,4 mm/h. para o mesmo horário a cota do Asu 2 estava em 0,73 m, aumentando para 0,76 m às 18 horas e 30 minutos. Essa diferença seria resultado da precipitação interna, abaixo da mata de galeria, direta no corpo hídrico ou na área saturada onde ocorre o afloramento médio do lençol freático, promovendo uma resposta hidráulica imediata, porém, pouco expressiva na vazão total do evento.

A resposta rápida no aumento da cota é uma característica inclusive para menores chuvas, no entanto, o pico do *TC* ocorreu as 21 horas e 30 minutos, definindo o tempo de concentração em 3 horas e 20 minutos. Já o tempo de recessão correspondeu a 38,5 horas. Esse evento gerou a maior cota do ano, 1,587 m, representando uma vazão na ordem de 11,3035 m³/s. A hidrógrafa da chuva comentada se vê na Figura 32.

Para 2016, a chuva analisada ocorreu em 12 de abril, sendo o índice pluviométrico de 63,7 mm. A estação com maior altura registrada foi a Pluvi S2 com 88,85 mm, onde iniciou as 7 horas e 47 minutos. Teve intensidade máxima de 132 mm/h e média de 12,77 mm/h nas suas 6 horas e 55 minutos de duração. A cota inicial era de 0,50 m, teve um aumento de 2 cm em 30 minutos e cota máxima de 1,309 as 14 horas, tendo um tempo de concentração de pelo menos 6 horas e 13 minutos. O tempo de pico manteve-se por quase uma hora até que começou a decrescer. A estabilização da cota inicial, tempo de recessão, ocorreu depois de 101,5 horas ou 4, 23 dias, conforme hidrógrafa da Figura 33.

Figura 32 - Tempo de Concentração, evento em 25/05/2015.

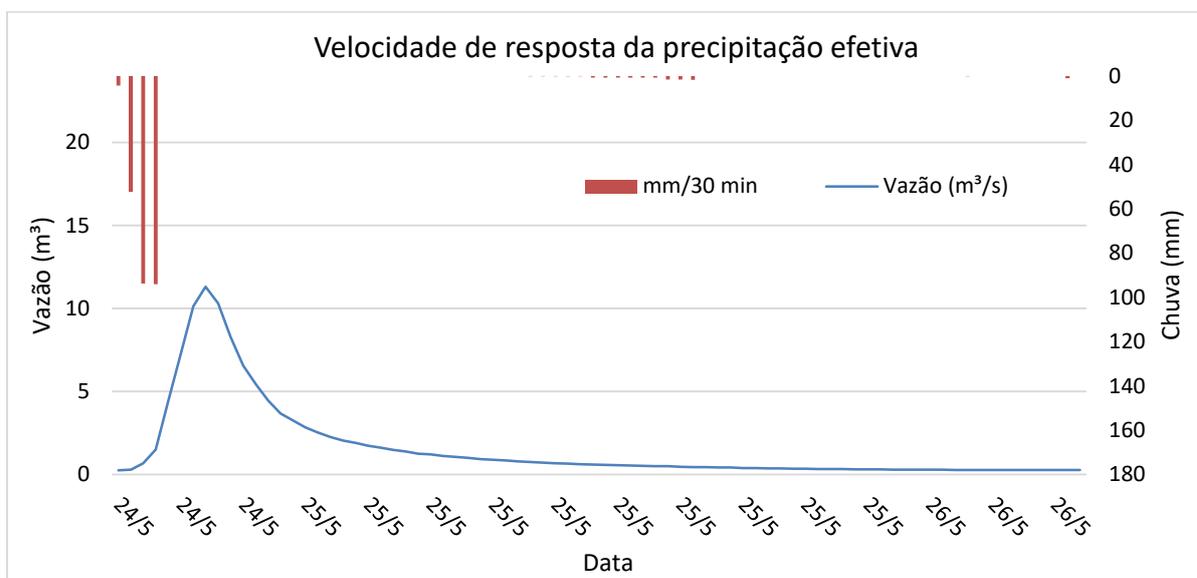
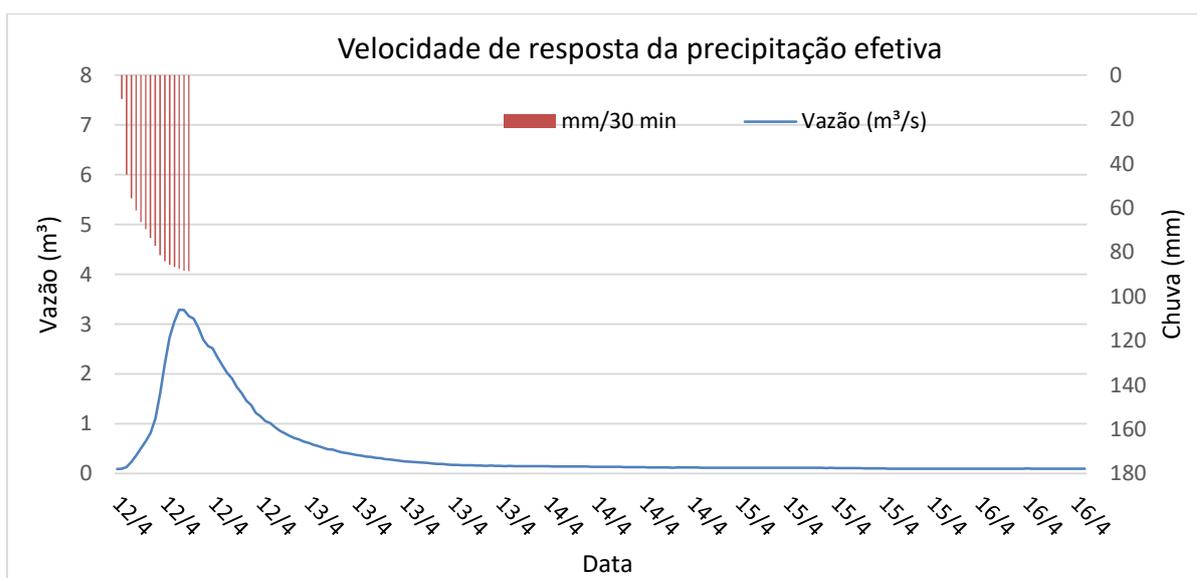


Figura 33 - Tempo de Concentração, evento em 12/04/2016.



Para análise comparativa, aplicou-se o método de Kirpich para cálculo indireto do TC de acordo com ajuste apresentado por Mota (2012) (Equação 21). O resultado apontou TC igual a 3 horas e 22 minutos. Parâmetro temporal próximo do pico apresentado na Figura 32.

O cálculo da intensidade máxima projetada para BEIA (Equação 22) resultou em 211,24 mm/h para um retorno de 5 anos. Valor próximo da intensidade máxima da precipitação observada nos dados de 2015, indicando a real possibilidade de que os picos das vazões máximas ocorrerem em até 3 horas e 30 minutos na Seção 2.

Embora os vários métodos de estimativa indireta de Tempo de Concentração tenham contraversões, o método de Kipirch, recomendado para pequenas bacias de áreas relativamente homogêneas e não urbanizadas, teve seu resultado condizente com a resultante da ocorrência do ano de 2015.

Quanto as chuvas de menores intensidades, a resposta da bacia é bem mais lenta, como no caso de 2016, com maior tempo de concentração, maior duração do pico e maior período de recessão. São características indicatórias de que grande parte da água precipitada infiltrou alcançando as camadas do lençol freático mais próximas da superfície, saindo mais lentamente via fluxo de base.

4.4.5 Vazões calculadas

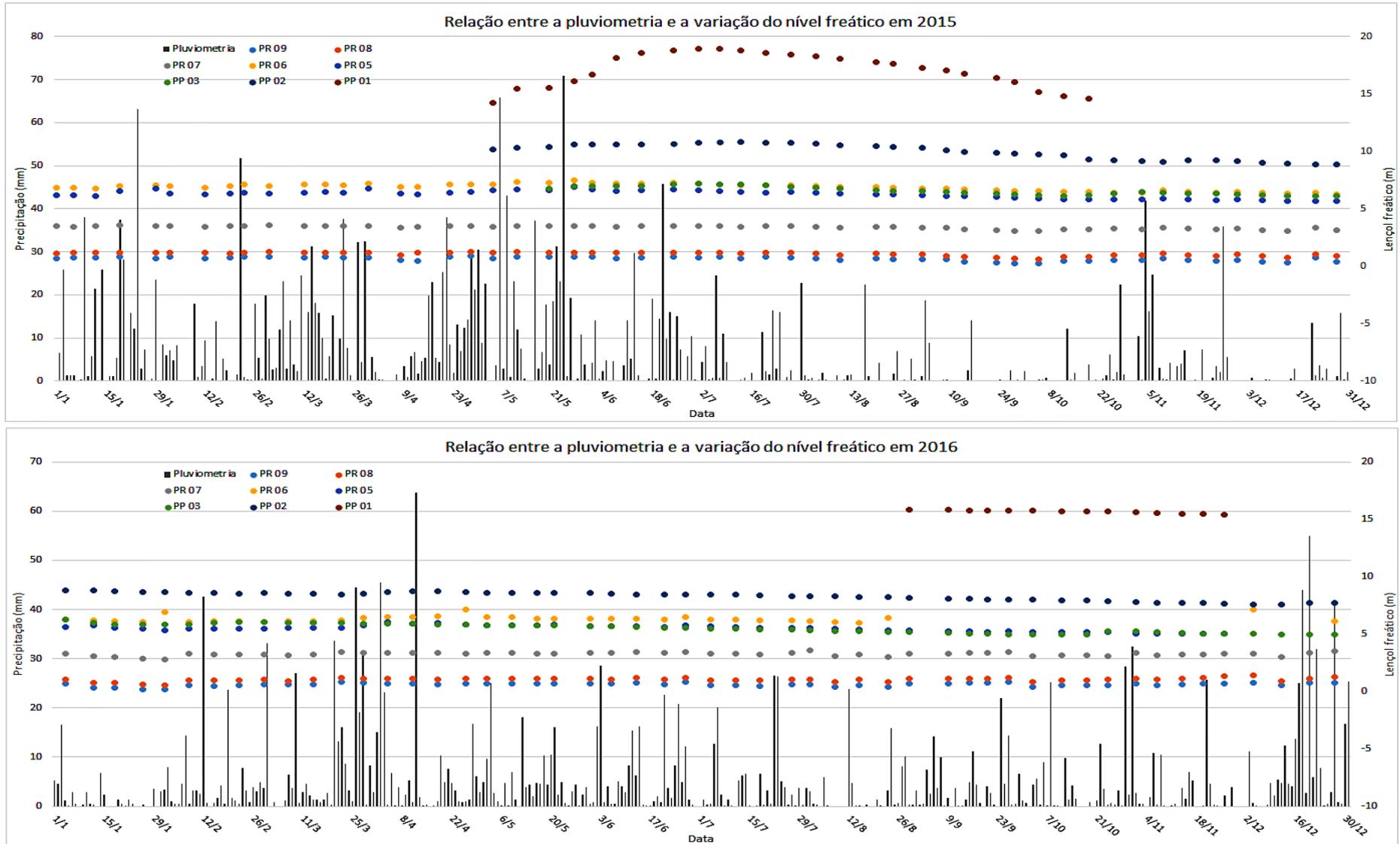
Os dados de vazão dos anos estudados apresentaram resultados fluviométricos dissimétricos em relação a ocorrência pluvial do mesmo período. Enquanto a vazão total de 2015 foi estimada em 1.174,58 mm, equivalente a 51,14 % da precipitação total do referido ano, para o ano de 2016 a vazão calculada é de 578,02 mm, representando 30,21 % da pluviometria do mesmo período.

4.5 Análise dos Dados Freáticos

De modo geral, observa-se pouca variação nos níveis de 2015, exceto para medidas do PP 01, cuja a série iniciou em 05/05/2015 e devido assoreamento interno no poço foi interrompida em 21/10/2015. Embora seja uma linha curta, os dados evidenciam a ondulada curva que começa à cerca de 14 metros da RL alcançando amplitude de mais de 4 metros em julho, ocasião do decréscimo pluviométrico, começando uma atenuante diminuição do nível do lençol freático.

Esse efeito não incide nos registros dos demais poços de monitoramento, inclusive aos outros dois PPs da área de platô, que apresentam variação mais lenta e menos atenuante. As variações do lençol freático, em relação a precipitação pluviométrica em 2015 e 2016, podem ser vistas na Figura 34.

Figura 34 - Analogia entre a ocorrência pluviométrica e a variação do nível freático nos anos Juliano de 2015 e 2016.



Os dados da zona de planície apresentam variações condicionadas a posição das instalações dos poços. O PR 09, por ser influenciado pela cota do igarapé, teve variação entre 0,09 m em abril e 0,22 m em outubro. Essa instalação tem seu diferencial pela indicação da relação do lençol freático com a manutenção hidráulica do igarapé pelo efeito de nível de base. Observações pontuais indicaram que o lençol freático próximo do talvegue mantém-se pelo menos 5 cm acima da cota limnimétrica, exceto nos períodos estios, como no caso de outubro, onde a cota limnimétrica e o nível freático ficaram relativamente nivelados. Essa relação tornou-se mais intensa no ano de 2016, ocasião da baixa recarga do aquífero freático devido a menor altura pluvial (Figura 34). Tal observação traz à baila o papel da zona saturada na conservação do fluxo fluvial por meio do nível de base. O perfil vertical do transecto de monitoramento freático está apresentado na Figura 35.

Ainda para o ano de 2015, os demais poços da planície apresentaram pouquíssima variação, provavelmente devido a maior capacidade de infiltração do solo nas cotas mais baixas da superfície. Fato que torna a variação do nível freático maior na zona de planície, caracterizada na BEIA por vales de medidas hectômetras e de baixo desnível.

Observações pontuais nos registros do PR 05 indicaram respostas de aumento do nível do lençol freático 15 minutos depois do início das chuvas mais intensas. Apesar desse poço estar instalado em uma zona levemente influente, devido uma variação côncava na microtopográfica na eira da encosta (Figura 35), seus registros são importantes para entender a relação entre a variação dos níveis freáticos dos poços do platô com a variação dos níveis freáticos dos poços da planície.

Embora a distância vertical entre o PP 03, primeiro poço na área de platô, e o PR 05 seja de 22,86 m, a variação freática entre os dois é variavelmente pequena. Em 2015 a média da distância freática da RL, conforme registros do PP 03, é próxima da média da mesma medida do PR 05: 6,27 m e 6,65 m.

Essa relação de proximidade permanece no ano de 2016, porém, cerca de 1 m mais próxima do Z0 da RL: 5,55 e 5,62. As Tabelas 21 e 22 apresentam matrizes de distancias verticais e horizontais entre as instalações. Todas as medidas têm como referência o Z0 da régua limnimétrica.

Figura 35 - Apresentação do gradiente topográfico do transecto de monitoramento freático da Seção 2 da BEIA.

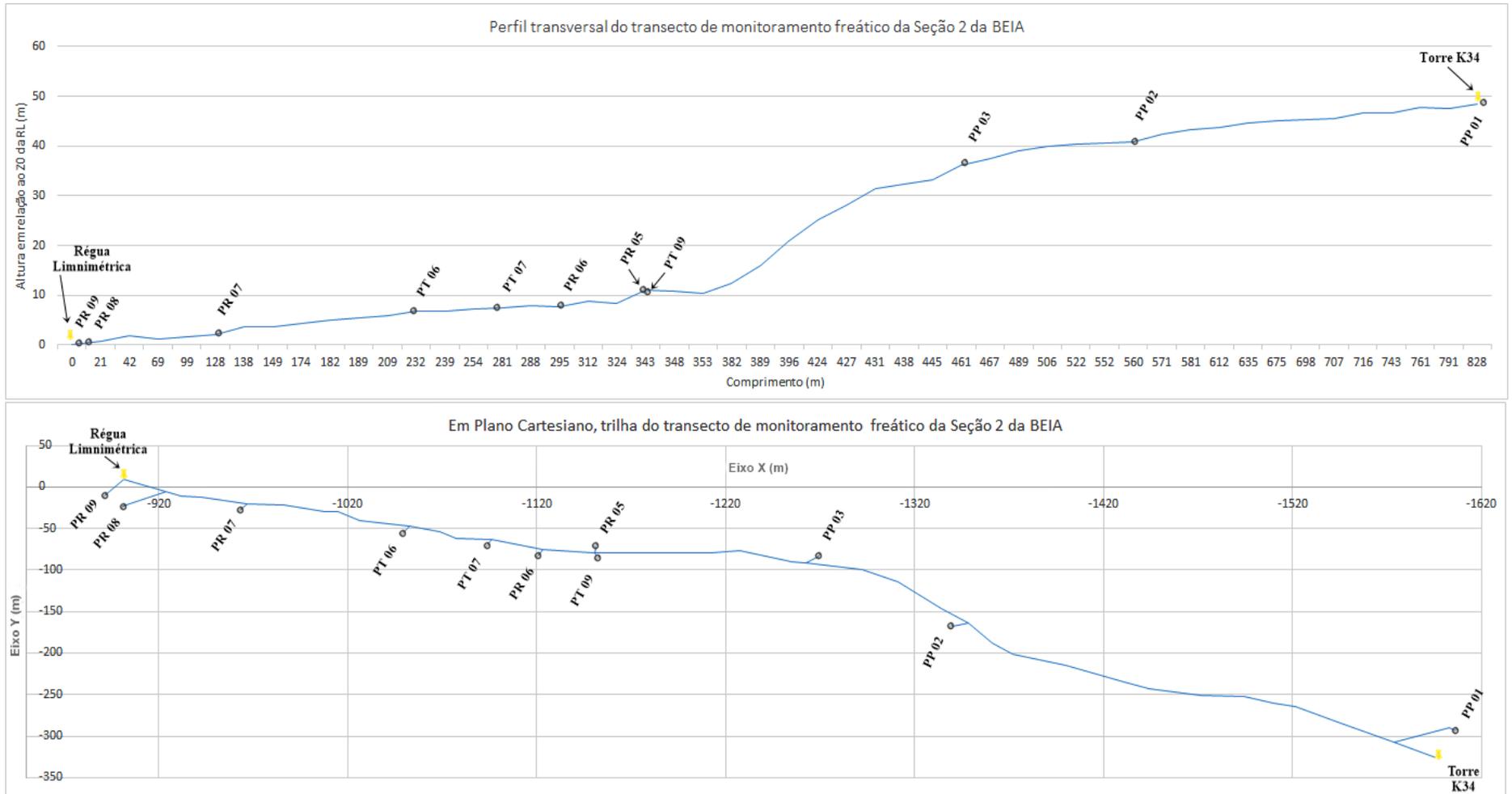


Tabela 21: Matriz de distâncias topográficas entre as instalações dos poços de monitoramento do lençol freático na Seção 2 da BEIA.

Igarapé	Igarapé									
PR 09	6,0 m	PR 09								
PR 08	20 m	16,0 m	PR 08							
PR 07	73,7 m	86,0 m	70,0 m	PR 07						
PR 06	244,9 m	257,7 m	241,7 m	171,8 m	PR 06					
PR 05	272,4 m	285,3 m	269,3 m	199,3 m	27,5 m	PR 05				
PP 03	390,8 m	403,7 m	387,7 m	317,7 m	145,9 m	118,4 m	PP 03			
PP 02	508,6 m	521,4 m	505,4 m	435,5 m	263,7 m	236,2 m	117,8 m	PP 02		
PP 01	835,7 m	848,5 m	832,5 m	762,6 m	590,8 m	563,3 m	444,9 m	327,1 m	PP 01	

Tabela 22: Matriz de distâncias verticais entre as instalações dos poços de monitoramento do lençol freático na Seção 2 da BEIA.

Igarapé	Igarapé									
PR 09	0,8 m	PR 09								
PR 08	1,3 m	0,5 m	PR 08							
PR 07	3,6 m	2,7 m	2,3 m	PR 07						
PR 06	8,3 m	7,5 m	7,0 m	4,7 m	PR 06					
PR 05	10,3 m	9,4 m	9,0 m	6,7 m	2,0 m	PR 05				
PP 03	33,2 m	32,3 m	31,9 m	29,6 m	24,8 m	22,9 m	PP 03			
PP 02	40,3 m	39,5 m	39,0 m	36,7 m	32,0 m	30,0 m	7,2 m	PP 02		
PP 01	47,6 m	46,8 m	46,3 m	44,0 m	39,3 m	37,3 m	14,5 m	7,3 m	PP 01	

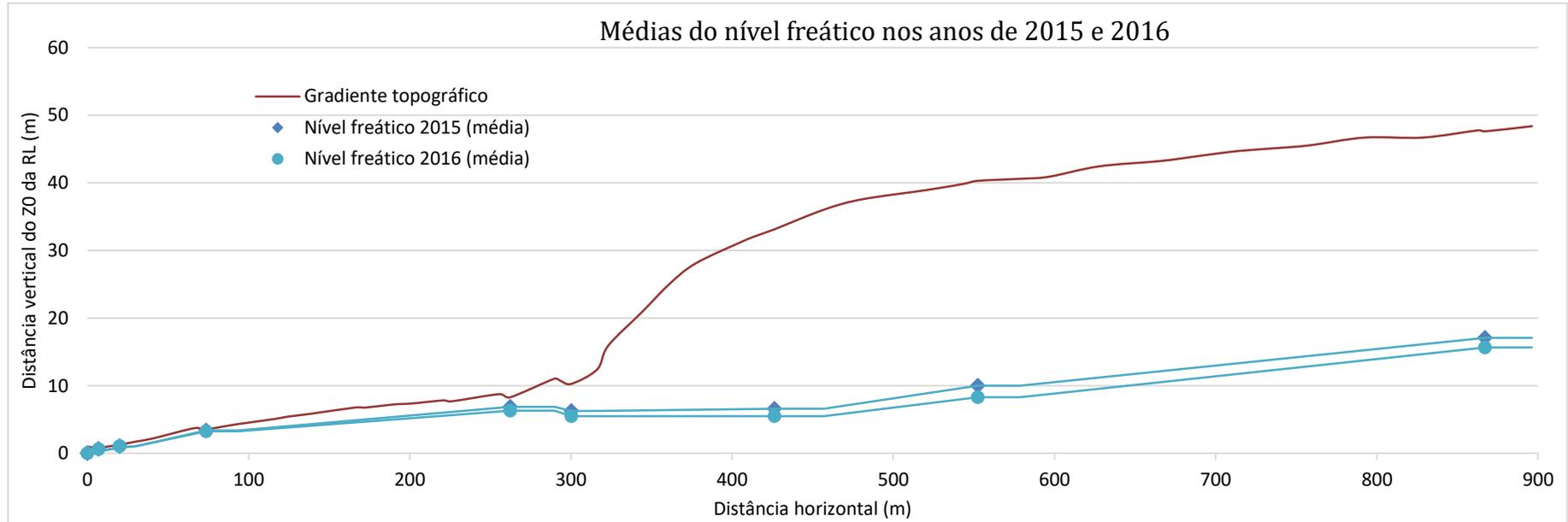
Para o ano de 2016, evidencia-se a menor variação dos dados freáticos de todo o transecto, mesmo na curta série do PP 01, reativado em 23/08/2016 após remoção do sedimento assoreado em seu interior. Nota-se sua baixa variabilidade entre 15,2 m e 14,8 m da RL, enquanto que na planície o declínio é mais acentuado, onde dois poços secaram, PR 05 e PR 06. Ficando ativos no período mais crítico os poços PR 07, PR 08 e PR 09, os mais próximos do igarapé, considerados dentro da área média de saturação.

O movimento vertical das águas subterrâneas pode ser evidenciado no ano de 2016, onde não há abóbodas nas linhas do nível freático apresentadas no gráfico (Figura 34), indicador do efeito de transmissividade mais uniforme da água armazenada no platô para a zona mais baixa.

Ainda que tenha chovido abaixo da média decenal em 2016, parte da precipitação distribuída ao longo do ano evitou um decaimento mais proeminente nos níveis freáticos. Com tudo, a estimativa de variação do lençol freático ficou negativa para ambos os anos. Em 2015, baseado na média dos dados, o saldo estocado entre janeiro a dezembro ficou em -7,46 mm. De igual modo para 2016, que terminou o ano com saldo deficitário ao sistema de -21,51 mm menor do que o de janeiro.

Esses resultados se acentuaram a partir do final de 2015, com o decréscimo das chuvas em função da ocorrência do fenômeno ENOS. A variação média do lençol freático em 2015 e 2016 pode ser vista na Figura 36.

Figura 36 - Nível médio da zona saturada nos anos de 2015 e 2016.



4.6 Balanço Hídrico

Os dados de precipitação apresentados neste Trabalho, quando analisados em conjunto com os demais componentes do BH da BEIA, nível freático e fluviosidade, oportunizam a compreensão da variabilidade intrasazonal e interanual da dinâmica hidrológica em períodos de ENOS acentuado na Amazônia Central.

O ápice de influência do El Niño no final de 2015 diminuiu o episódio pluviométrico do mês de dezembro em 77% em relação à média decenal do mesmo período, 196,15 mm, conforme Boletins Pluviométricos da CPH/LBA (2002: 2014). Fisch *et al.*, (1991) estudando dados pluviométricos dos anos de ocorrência de El Niños, também encontrou variações negativas de até 70% nos meses de janeiro e fevereiro de 1983 nas precipitações na cidade de Manaus.

A variação pluvial entre os anos refletiu diretamente na reposição negativa das águas subterrâneas da BEIA. Os dados estudados evidenciam o déficit hídrico em função do menor índice pluviométrico. O mesmo ocorreu na taxa de Runoff (51% em 2015 e 31% em 2016), indicador de que grande parte da água precipitada não se converteu em drenagem horizontal. Os resultados dos componentes do BH da seção 2 da BEIA para os anos estudados neste trabalho estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Resultado das variáveis monitoradas neste Trabalho.

	2015	%	2016	%
P (mm)	2.296,84	100,00	1.913,42	100,00
Q (mm)	1.174,57	51,14	578,02	30,21
q - recarga (mm)	1.040,21	45,29	785,81	41,07
q - descarga (mm)	1.267,65	55,19	1.335,20	69,78

Os valores de saída da água do sistema são consideravelmente maiores do que a precipitação incidida no mesmo período, sobretudo quando adicionado a evapotranspiração média de 3,86 mm/dia⁻¹, conforme dados de Tomasella *et al.*, (2007). O valor da *Et* estimada para 2015 ficou em 1.408,9 mm, e para 2016, ano bissexto, a *Et* ficou estimada em 1.412,76 mm.

A diferença entre a altura de entrada e a altura de saída de água do sistema hidráulico da BEIA é de -286,64 mm para 2015 e de -61,69 mm em 2016.

4.7 Dinâmica Hidráulica da Seção 2 da BEIA

A dificuldade do fechamento matemático do BH pode estar relacionada a morfometria da BEIA. A pouca variação topográfica favorece a infiltração da água precipitada, tanto no platô como na planície, onde está a maior parte da área da superfície de captação pluvial da Seção 2. Essa característica influencia substancialmente a relação das zonas mais baixas da topografia com a recarga da zona saturada, explicando as menores variações nos gráficos da variação freática nos poços da planície.

O lençol freático também tem importante participação no fluxo de drenagem superficial, mantido via nível de base grande parte do tempo. Hodnett *et al.*, (2007) estudaram os componentes do BH da BEIA nos anos de 2000 a 2002, eles estimaram que o fluxo de base anual variou entre 51% e 66% da descarga total durante os anos estudados.

Sendo a zona saturada o principal mecanismo de geração de escoamento, sua variação inferiu diretamente no decréscimo do valor do coeficiente de escoamento entre 2015 e 2016. O baixo percentual da vazão em relação ao total precipitado em 2016, sugere que a maior parte da água da chuva tenha sido absorvida pelo sistema biótico da área de captação, voltando para a atmosfera sob efeito de evapotranspiração, fenômeno mais intenso em anos de maior estiagem (FONTES *et al.*, 2018).

A proximidade da zona saturada da superfície da planície indica também o importante papel das águas subterrâneas na manutenção hidráulica da vegetação, principalmente em períodos de estiagens atípicas. Araujo (2019) estudou a fenologia da floresta no gradiente topográfico do transecto Norte/Sul usando imagens aéreas obtidas mensalmente com drone. Uma de suas constatações é de que as árvores do platô tiveram um pico de brotamento foliar nos meses de março e abril de 2016. Segundo a pesquisadora, esse fenômeno pode estar relacionado ao déficit hídrico no solo do platô, implicando numa readaptação fisiológica das plantas no escopo do melhor aproveitamento da água por meio de substituição das folhas velhas por mais novas. Esse fenômeno ocorre normalmente entre agosto e setembro, período estio do ano. A autora não constatou tal ocorrência nas árvores da planície, supostamente por estas terem suas raízes em contato direto com o lençol freático.

Em consonância com informações de Araujo (2019), Fontes *et al.*, (2018) estudaram a reação de 5 espécies arbóreas à severa estiagem de 2016. Os estudos foram feitos nas proximidades da torre K34, área de platô da Seção 2. Segundo a autora, a alta temperatura e o baixo nível de umidade do solo provocaram mudanças fisiológicas nas árvores induzindo-as a reações defensivas para sobrevivência, fato atípico em uma região cuja vegetação não está adaptada às limitações hídricas.

Silva (2007), que estudou o estoque e dinâmica da biomassa da floresta, tendo seu sítio experimental na ZF2, constatou que em média 41,6 % da massa das árvores com DAP acima de 5 cm é constituída por água. A água é presente nas árvores na condição de ocupação e não de residência. Segundo Lamber *et al.*, (2008), 99% da água que entra na planta é transpirada à atmosfera.

Essas observações enfatizam a importância de dados morfométricos no estudo hidrológico da área de captação, ajudando a entender a baixa estocagem na zona saturada em 2016, de onde a floresta da planície tira água para sua manutenção metabólica. Essa condição exemplifica que estimar o balanço hídrico pelo método simplificado ajustado da continuidade da massa (Equação 26) não pode ser aplicado na BEIA. A complexa interação entre os sistemas bióticos e os componentes hidráulicos ao longo do trajeto subterrâneo da água, dificultam a estimativa indireta da evapotranspiração por ser a zona saturada essencial também para o escoamento superficial via o nível de base freático. Não sendo possível estimar quanto é bioticamente subtraído à atmosfera, ou contribuído lateralmente ao talvegue fluvial, exceto pelo monitoramento observado da evapotranspiração.

Outra observação em relação a estocagem freática da Seção 2 da BEIA, é a topografia pouco variável da área do platô. Caracterizada pela superfície tabulada, essa área corresponde com aproximadamente 35% da superfície de captação, coletando cerca de 804 mm da precipitação de 2015 e 670 mm da precipitação de 2016. Diferente da água que chove na planície, da qual parte estaria sujeita ao escoamento hortoniano por precipitar em área saturada e outra parte rapidamente alcança o lençol freático, por este ser raso, a água ocasionada em platô infiltra à zona insaturada, constatação que se consolida com Tomasella *et al.*, (2012), que considerou nulo o efeito de escoamento hortoniano nas áreas mais altas da BEIA.

Parte da água infiltrada atende as necessidades bióticas na zona das raízes, que raramente passam de 3 metros (SILVA, 2007), e outra parte alcança a zona saturada pelo efeito do geotropismo (TOMASELLA *et al.*, 2007).

Embora os dados do monitoramento freático no platô tenham tido lacunas nos anos estudados, os registros existentes permitem a constatação de que o armazenando subterrâneo ocorrido nessa área contribui para manutenção do nível freático das zonas da planície via transmissão subterrânea, principalmente nos períodos de menor precipitação pluviométrica. Essa observação foi enfatizada por Tomasella *et al.*, (2007), que estimou a velocidade do tempo de viagem da água do PP1 até o igarapé em aproximadamente 4 meses.

A infiltração da água no platô também está relacionada com a existência de zonas influentes que se estendem à planície e que normalmente tem em suas bases a formação de leitos que formam a rede de drenagem da BEIA. Essa é uma constatação feita durante o mapeamento das nascentes. A observação feita *in loco* pode ser verificada no MDEHC (Figura 20).

A rede de drenagem é caracterizada por suas variações entre alagadiços, normalmente nas nascentes e nas confluências, e cursos em calhas definidas ao longo dos 3 trechos hídricos. Essa característica diminui na medida em que o ordenamento dos trechos aumenta. Enquanto os cursos de 1º ordem se distinguem por zonas alagadas e fluxos que permeiam as superfícies das raízes. O trecho de 2º ordem, próximo da estação fluviométrica, tem seu leito estável, e por ser o ponto mais baixo da área de captação, sua fluviosidade é sujeita a uma grande variação dos níveis de água e vazões ao longo do tempo, fato diretamente relacionado ao tempo de concentração.

O estudo da relação precipitação vazão deixa claro que o espaço temporal entre o início de uma chuva e o aumento do nível de água está conexo aos vários fatores que caracterizam a morfometria e a cobertura florestal da BEIA, além da própria intensidade da precipitação. Essa informação adicionada da distribuição da amplitude topográfica ao longo do eixo da bacia, é importante para o observador estimar a quantidade de radiação solar que a superfície da área estaria sujeita. De acordo com Tonello (2005), a quantidade de radiação incidente na bacia influencia nos fenômenos físicos associados a entrada e a saída vertical da água em seu sistema aberto.

No caso da BEIA, coberta por floresta, essa informação pode ser associada a taxa de evapotranspiração no balanço hídrico, ajudando a entender o quanto possíveis mudanças de cobertura do solo influenciaria na produção de água, desviando volumes verticais para horizontais. Esse efeito faz parte dos mecanismos

na geração de deflúvio em bacias, sendo um dos subsistemas muito estudado na ciência de ⁷ecohidrologia em função de sua importância na formação das paisagens.

Essa dependência que o mecanismo hidrológico da BEIA tem da variação do sistema das águas freáticas, evidencia a importância dos estudos pontuais para maior compreensão do papel dos recursos hídricos na manutenção dos ecossistemas da região Central da bacia Amazônica. Este Trabalho traz à baila os diferenciais existentes nos estudos hidráulicos de bacias experimentais. Diferenciais fomentadores de divergências conceituais na definição de pequenas bacias hidrográficas. Isso não é novidade na hidrologia, mas ainda é informação escassa para as características de menor escala espacial na maior bacia hidrográfica do mundo.

É fato que os estudos hidrológicos requerem significante investimentos, essa é a maior dificuldade na continuidade das pesquisas de longo prazo no Brasil. Realidade que se contrasta com a riqueza hídrica da bacia Amazônica, fator ressaltante do papel da água na manutenção de todas as formas de vida nos seus ecossistemas. A razão de ser das bacias experimentais e representativas passa exatamente pela compreensão dos fatores que influenciam nos mecanismos hidrológicos de uma região, contribuindo diretamente na compreensão da ocorrência e estocagem desse insumo à vida.

4.8 Conclusões

O estabelecimento de metodologias para edição e análises dos dados hidrométricos coletados na Seção 2 da BEIA mostraram-se consistentes nos testes metodológicos realizados ao longo do período dos estudos apresentados neste Trabalho, contribuíram para o melhor entendimento da dinâmica e da manutenção hidráulica da área de captação estudada.

A necessidade de se estabelecer um método válido para estima das vazões de várzea visou o favorecimento de uma interpretação mais realística da capacidade métrica do escoamento da rede de drenagem ao longo do tempo dos eventos pluviométricos maiores. Essa realidade está conexa a morfometria da área de

⁷Ciência que estuda a inter-relação entre os mecanismos hidrológicos e os processos ecológicos que formam os cenários naturais nas mais variadas escalas temporais e espaciais, conforme as variações da vegetação, solo, água e clima (Zalewski et al, 1997).

captação estudada, caracterizada por platôs de baixa variação topográfica e maiores áreas de planícies, cuja superfícies estão próximas da zona saturada.

Com a maior parte da superfície em área de planície, parte da água infiltrada é disponibilizada às plantas diretamente pelo lençol freático, outra parte mantém o fluxo fluvial via nível de base. Esse mecanismo funciona mesmo em períodos mais estios devido a transmissividade freática do platô à planície. Essa característica permite o funcionamento do sistema hidráulico em séries bianuais, onde os estoques de um ano hidrológico mantêm o mecanismo hidrológico no ano seguinte.

Essa realidade dificulta a estimativa do balanço hídrico pelo método simplificado da continuidade da massa, onde a evapotranspiração poderia ser estimada de modo indireto pelo resultado da razão entre precipitação, vazão e variação da zona saturada. Por ser o lençol freático conexo com a evapotranspiração e a vazão fluvial, separar esses quantitativos requer estudos observacionais de uma dessas variações da descarga freática.

Os dados de precipitação apresentados, quando analisados em conjunto com os demais componentes do balanço hídrico, também monitorados por este Trabalho, nível freático e fluviosidade, oportunizam a compreensão da variabilidade intrasazonal e interanual da dinâmica hidrológica em períodos de ENOS acentuado na Amazônia Central. Os dados evidenciam o decréscimo nas precipitações entre os anos estudados, indicando a susceptibilidade do regime hidrológico de superfície da BEIA em função das variações do clima na região.

Embora tenha chovido abaixo da média decenal em 2016, parte da precipitação distribuída ao longo do ano evitou um decaimento mais acentuado nos níveis freáticos. Com tudo, a estimativa de variação do lençol freático ficou negativa para ambos os anos, com significativa diminuição a partir do final de 2015 devido o decréscimo das chuvas em função da ocorrência do fenômeno ENOS.

Atribui-se, portanto, a íntima relação entre os componentes hidrológicos em todas as suas fases no sistema de captação da Seção 2, mantida substancialmente pelas reservas freáticas captadas ao longo do período de chuvas, às características morfométricas da área de captação pluvial. A eficiência dessa captação decorre da ausência de fluxos hortonianos no platô e na capacidade de drenagem dos solos hidromórficos na área de planície. Fato que associado a cobertura florestal preservada, amortece os efeitos das chuvas mais intensas, dissipando gradualmente a energia no tempo de concentração e de recessão.

No âmbito da gestão e regulação dos recursos hídricos, estudos que caracterizam os mecanismos hidrológicos da bacia do Asu podem contribuir para tomadas de decisões através de dados observados, subsídios essenciais para geração de modelos mais completos e precisos sobre a ocupação espacial humana e seus efeitos nos ecossistemas que compreendem a região Central da Amazônia. Pauta recorrente no âmbito do papel da Amazônia como entidade regional e global.

As dificuldades nos processos de obtenção e estimativa dos volumes hidrométricos deste Trabalho se alinham com a de muitos outros estudados na revisão deste Projeto. Embora muitas pesquisas feitas em bacias experimentais contribuam para a caracterização hidrológica de algumas regiões da Amazônia, não há trabalhos de longos períodos, evidenciando a falha na existência de estudos contínuos, condição caracterizada às bacias representativas.

Os primeiros artigos resultantes de estudos hidrológicos em bacias experimentais na Amazônia são de meados de 1977. A variação na intensidade dos trabalhos parece estar relacionada ao ritmo das gerações de pesquisadores, que após o término de seus projetos criam-se hiatos temporais nas investigações científicas. Essa situação aponta uma das dificuldades de se obter dados hidrológicos de séries representativas, continuadas e de longos períodos, fato obstatante à Gestão dos Recursos Hídricos Amazônicos, onde por suas características naturais, a GRH deve se dar fundamentalmente pelo monitoramento contínuo desse recurso natural, que embora seja abundante, revela-se susceptível as variações climáticas e de transformações da cobertura de superfície, fato revelado por este Trabalho e por muitos outros aqui citados.

É notório que um dos grandes desafios para a continuidade das pesquisas em pequenas bacias se dá na formação de especialistas que possam substituir os pesquisadores que se retiram da linha de frente. Além disso, a falta de garantias da continuação de financiamentos limita a atuação e a programação de longo prazo das pesquisas, ocorrência que restringe a temporalidade dos trabalhos para períodos menores do que 4 ou 5 anos, tempo pouco representativo quando o interesse é entender a dinâmica hidroclimática em escala decadal (TUCCI; BRAGA, 2015).

Esse contexto remete à necessidade de se projetar linhas de pesquisas que tenham como escopo, além de estudos de longo prazo, a formação de profissionais especializados na temática hidrológica, ampliando a abrangência de formações para as mais diversas áreas da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, I. N.; MATTA, M. A. S. O Sistema Aquífero Grande Amazônia - SAGA: Um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. In: III INTERNATIONAL CONGRESS ON SUBSURFACE ENVIRONMENTE. **Anais do III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**, São Paulo, 2013.

ANDRÉASSIAN V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v.291, n.1-2, p. 1-27, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados fluviométricos**. Brasília, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Divisões Hidrográficas do Brasil**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>> Acesso em: 10 Fev. 18.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mapa Quali-quantitativo**. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=57267da1a19a4a183dc8e2d0f6fea67>> Acesso em: 22 Dez. 17.

ÁGUAS AMAZÔNICAS. **Fluxos e inundações**. Disponível em: <<http://pt.aguasAmazonicas.org/aguas-2/fluxos-e-inundacoes/>>. Acesso em 03 Mar. 2019.

ALMEIDA, C. N.; FREITAS, E. S.; BARBOSA, L. R.. Desenvolvimento De Uma Planilha Para Definição De Eventos Chuvosos a Partir do Critério do Mínimo Tempo Entre Eventos. In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE. **Anais do XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Aracaju, 2016.

ALMEIDA, C. N.; FREITAS, E. S.; BARBOSA, L. R.; SILANS, A. M. B. P. Operação e manutenção da bacia hidrográfica experimental do riacho Guaraíra: desafios e dificuldades enfrentados ao longo de 12 anos. IN: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.

ALVERGA, L. H. M. **Levantamento e Cadastro de Bacias Experimentais no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Federal da Paraíba. Campinha Grande, 2016. Disponível em: <<http://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/levantamento-e-cadastro-de-bacias-experimentais-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 15 Jan.2018.

AMAZON BASIN SPATIAL DATABASE CREATION. Disponível em: <<http://gis.harvard.edu/services/project-consultation/project-resume/amazon-basin-spatial-database-creation>>. Acesso em: 10 Fev. 17.

ARAÚJO R. F. **Estrutura do Dossel, Dinâmica Florestal e Fenologia Foliar Com Uso de Aeronave Remotamente Pilotada. Tese de Doutorado: INPA: Tese de doutorado**. Programa de Ciências Florestais CFT/INPA, Manaus, AM, 2019.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na serra do mar**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

AYRES, M. C. **Hidrometria: medição de vazão**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Agrônômicas) -UNESP, Botucatu - SP, 2001.

BARTHEM, R. B.; FABRÉ, N. N. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: **Ruffino, M.L. (Org.)**. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Provárzea, p. 11-55, 2004.

BATES C. G.; HENRY A. J. Forest and Streamflow Experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado, **Monthly Weather Review Supplement No. 30**, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., p. 79, 1928.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In.: **Hidrologia: Ciência e Aplicação, Org. Carlos E. M.** 4. ed. Porto Alegre, 2013.

BORMA, L. S. Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico no Brasil. In: **Argemiro Luís Brum, Carolina Bilibio, Jeferson F. Selbach, Oliver Hensel. (Org.)**. Sustentabilidade do uso da água nos trópicos e sub-trópicos. 1ed. Ijuí: Ed. Unijuí, v. 1, p. 63-102, 2013.

BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. 1. ed. São Paulo, 2013.

BRASIL. Decreto nº 94.076, de 5 de março de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias hidrográficas e das outras providências. 1987.

BRASIL. Lei 9.443, de 08 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 08 Mar. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.984/2000. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm#art29>. Acesso em: 24 dez. 2017.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: Diário Oficial da União, 1994.

CARNEIRO, V. M. C. **Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cuieiras**. 2004. 77p. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas da Amazônia Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2004.

CHAMBERS, J. Q.; ARTAXO, P. Biosphere-atmosphere interactions: Deforestation size influences rainfall. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 175-176, 2017.

CHAUVEL, A. ; GUILLAUMET, J.L. SCHUBART, H. O. R. Importance et distribution des racines et des êtres vivants dans un latossol argileux sous forêt amazonienne. **Revue D'Ecologie et de Biologie du Sol** 24(1), 19-48, 1987a.

CHAUVEL, A. ; LUCAS, Y. ; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, central Amazonia, Brazil. *Experientia* 43, 234 – 241, 1987b.

COE, M.T.; OLEJNICZAK, N. **LBA Regional River Discharge Data (Coe and Olejniczak) ORNL DAAC, Oak Ridge**, Tennessee, USA, 2003, Disponível em: <<https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/685>>. Acesso em: 24 Jun. 2018.

CUARTAS, A. L.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; NOBRE, C. A.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; OLIVEIRA, S. M.; RANDOW, R. C. V.; TRANCOSO, R.; Ferreira, M. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. **Journal of Hydrology (Amsterdam)**, v. 462-463, p. 15-27, 2012.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; WATERLOO, M. J.; MÚNERA, J. C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, p. 69-83, 2007.

CUNHA, E. F. **Conflitos, recategorizacao e redelimitacao do parque estadual do rio negro setor sul**. 2011. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2011.

ELSENBEER, H.; NEWTON, B.E.; DUNNE, T. MORAES, J.M. Soil hydraulic conductivities of latosols under pasture, forest and teak in Rondonia, Brazil. **Hydrological Processes**. 13, 1417-1422, 1999.

ELSENBEER, H.; VERTESSY, R. A. Stormflow generation and flowpath characteristics in an Amazonian rainforest catchment. **Hydrological Processes**, 14, 2367 – 2381, 2000.

EMBRAPA. **Projeto Paisagens Sustentáveis Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3862/paisagens-sustentaveis>>. Acesso em: 08 Ago. 2018.

ESRI. Arc Hydro Tools version 2,0 for ArcGIS 9.2 Tutorial. California, 2011.

EXPERIMENTO DE GRANDE ESCALA DA BIOSFERA-ATMOSFERA DA AMAZÔNIA. Plano Científico - LBA2. Disponível em: <http://lba2.inpa.gov.br/media/arquivos_lba/pdfs/LBA_2_Plano_Cientifico_Portugues_Ago_2007.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

FAN, J.; ROSENFELD, D.; ZHANG, Y.; GIANGRANDE, S. E.; LI, Z.; MACHADO, L. A. T.; MARTIN, S.; YANG, Y.; WANG, J.; ARTAXO, P.; BARBOSA, H. M. J.; BRAGA, R. C. ; COMSTOCK, J. M.; FENG, Z.; GAO, W; GOMES, H. B.; MEI, F.; PÖHLKER, C.; PÖHLKER, M. L. ; Pöschl, U.; SOUZA, R. A. F. Substantial convection and precipitation enhancements by ultrafine aerosol particles. **Science**. v. 359, p. 411-418, 2018.

FAO. **The challenge of sustainable forest management: what future for world's forests**. Rome FAO 128, 1995.

FELICES, A. R. **Hidráulica de tuberías y canales**. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil, p. 516, 2007.

FILIZOLA, N.; CÂNDIDO, L.; MANZI, A.; et al. Variabilidade hidrológica na Amazônia. Uma perspectiva para a elaboração do balanço hídrico regional. **Dialnet**. n. S/nº, p. 109-117, jan. 2010.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Clima da Amazônia**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

FISCH, G.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral do Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n.2, 1998.

FONTES, C. G., et al. Dry and hot: the hydraulic consequences of a climate change – type drought for Amazonian trees. *Phil. Trans. R. Soc. B* 373, 20180209. (doi:10.1098/rstb.2018.0209), 2018.

FRANÇA, M. N. C.; MONTEIRO, M. T. F.; CANDIDO, L. A.; et al. Relação entre a precipitação e os fluxos de água na interação com o dossel florestal na Amazônia. IN: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS **Anais...** Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/busca-por-trabalhos-tecnicos>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

FRANKEN, W. K.; LEOPOLDO, P. R.; RIBEIRO, M. N. G. Interceptação das Precipitações em Floresta Amazônica de Terra Firme. **Acta Amazônica**, v. 12 (3), p. 15-22, 1982.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, 41(4), p. 587-596, 2011.

FREITAS, E. S.; BARBOSA, L. R.; ALMEIDA, C. N. Desenvolvimento de *software* em Excel para análise de dados e auxílio na manutenção de bacias hidrográficas. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; GALLART, F.; Las cuencas experimentales como base para el estudio de la erosión y la desertificación. En: Ibáñez, J.J., Valero, B. & Machado, C. (eds): El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación. **Geoforma Ediciones**. Logroño, 221-238, 1997.

GARSTANG, M.; FITZJARRALD, D. R. Observations of surface to atmosphere interactions in the tropics, Oxford University Press, New York, p.405, 1999.

GEO AMAZÔNIA. **Perspectivas do Meio Ambiente na Amazônia**. PNUMA/OTCA/ Centro de Pesquisa da Universidad del Pacifico. 2008.

GOLDENFUM, J. A. **Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos**. In: João Batista Dias de Paiva; Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva. (Org.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre, p. 3-13, 2001.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. **Indicadores de Desenvolvimento do Estado do Amazonas 2018**. Disponível em <http://www.seplancti.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Indicadores-de-Desempenho-do-Estado-do-Amazonas.pdf>
Acesso em: 18 Fev. 18

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R.P.; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**. 34(3): 295-304, 2004.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; FREITAS, J.V.; VIEIRA, G.; COIC, A.; MINETTE L.J. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-Firme Manejada Experimentalmente. In: **Biomassa de Nutrientes Florestais**. INPA/ DFID, p. 89–132, 1997.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**. 28 (2): 153-165, 1998.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, F. G.; CHAMBERS, J. Q. A floresta Amazônica e a água da chuva. **Floresta (UFPR. Impresso)**, v. 41, p. 427-434, 2011.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M.D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. O.. Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. **In: Amazonian Deforestation and Climate**, Eds Gash, J., Nobre, C.A., Roberts, J.M., and Victoria, R.L. John Wiley, Chichester, U.K. p. 57-77, 1996a.

HODNETT, M.G.; I, VENDRAME, A.O.; MARQUES FILHO, M.D.; OYAMA, J. T. Soil and groundwater behaviour in a catenary sequence beneath forest in Central Amazonia: I. Comparisons between plateau, slope and valley floor. **Hydrology and Earth Systems Sciences**. 1(2):265-277, 1997a.

HODNETT, M.G.; I. VENDRAME, M.D.; OYAMA, A.O.; MARQUES FILHO, J. T. Soil water storage and groundwater behaviour in a catenary sequence beneath forest in Central Amazonia. II. Floodplain water table behaviour and implication for streamflow generation. **Hydrology and Earth Systems Sciences**, 1(2):279-290, 1997b.

HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Trans. Am. Geophys. Un.** 14, p.446-460, 1933.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>> acesso em 12 Dez. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLOGICAS. **Plano de Gestão Parque Estadual do Rio Negro Setor Sul**: Versão para consulta pública. Manaus, v.1 p.214, 2010.

ISHIHARA, J. H.; FERNANDES, L. L.; DUARTE, A. A. A. M.; LOUREIRO, G. E. Avaliação do Monitoramento Pluviométrico da Amazônia Legal. **Engenharia Ambiental (Online)**, v. 10, p. 132-144, 2014.

JORDAN, C.F.; HEUVELDOP, J. The water bridget of an Amazonia rain forest. **Acta Amazônica**. 11 (1), p.87-92, 1981.

KHANNA, J.; MEDVIGY, D.; FUEGLISTALER, S.; WALKO, R. Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. **Nature Climate Change** 7(3), 200–204, 2017.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. Recursos hídricos e saneamento. Curitiba: Ed. **Organic Trading**, Curitiba, p. 160, 2008.

KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; MOTA, A.A. **Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais**, 3ª edição. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, Florianópolis , 2011.

L'VOVICH, M.I.; Water Resources and Their Future. Litho Crafters Inc., Michigan. Mahedeva, S.M., Mall, I.D., Prasad, B., Mishra, I.M., 1997. **Removal of phenol by adsorption on coal flyash and activated carbon**. Pollut. Res. 16, 170,175, 1979.

LENCASTRE, A. (1996). **Hidráulica geral**. Universidade Nova Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, Portugal.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W. K.; SALATI, E. Balanço Hídrico de Uma Pequena Bacia Hidrográfica em floresta Amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**, v. 12 (2), p. 333-337, 1982.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, p. 253, 2008.

LIMA, W. P. **Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas**. 1982.

LIMERINOS, J. T.; RESOURCES, C. D. O. W. **Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels**. US Government Printing Office Washington, DC. 53, 1970.

LUIZA, C.; VALÉRIA, A.; OLIVEIRA, K.; et al. **Importância de dados Hidrometeorológicos Confiáveis no Gerenciamento de Recursos Hídricos.**

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/267844665_IMPORTANCIA_DE_DADOS_HIDROMETEOROLOGICOS_CONFIAVEIS_NO_GERENCIAMENTO_DE_RECURSOS_HIDRICOS>. Acesso em: 29 mar. 2017.

MARENGO J. A. Condições Climáticas e Recursos Hídricos no Norte Brasileiro. **In: FBMC; ABRH. (Org.). Clima e Recursos Hídricos.** Porto Alegre, p. 117-156, 2003.

MARENGO J. A.; FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n.2, p. 101-126, 1998.

MARENGO, J. Characteristics and variability of the atmospheric water balance of the Amazon Basin. In Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere. **Meteorology and Oceanography**, Santiago, Chile, p. 284-285, 2000.

MARQUES FILHO, A. O.; FERREIRA, S. J. F.; MIRANDA, S. Á. F. Modelo de escoamento superficial em bacia experimental da Reserva Florestal Adolpho Ducke. **Acta Amazônica**. (Impresso), v. 39, p. 907-922, 2009.

MARQUES FILHO, A.O.; DALLAROSA, R.G.; PACHÊCO, V.B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta: Reserva Biológica do Cuieiras – ZF2. **Acta Amazônica**. Manaus, 35 (4): p. 427- 436. 2005.

MENDONÇA, A. S. F. **Balanco Hídrico**. In: João Batista Dias de Paiva; Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva. (Org.). Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre, v. 1, p. 165-168, 2016.

MENEGUZZO, I. S. **Análise da degradação ambiental na área urbana da bacia do rio Arroio Gertrudes, Ponta Grossa, PR.: uma contribuição ao planejamento ambiental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 100. 2006.

MIRANDA, E.V. **Padrão de Desenvolvimento Radial Horário de Fuste de Três Espécies Florestais Típicas da Amazônia Utilizando Dendômetros Automáticos.**

Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/UFAM, Manaus, p.76, 2002.

MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21. 2237-8642 (Eletrônica), 2017.

MORAES, M. E. B.; LORANDI, R. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Bacias Hidrográficas.** 1. ed. Ilhéus: Editus, v.1, p. 283, 2016.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas.** Dissertação Mestrado. Piracicaba-SP: Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, p. 88 2003.

MOTA, A. A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**, 2012, 131 p, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

NASCIMENTO, D. A.; OLIVEIRA, M. F.; DAMASCENO, S. B.; SILVA, J. S. Importância de estudo pluviométrico na gestão dos recursos hídricos: observações aplicada em uma microbacia da amazônia central. IN: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA ÁGUA: INOVAÇÃO E OPORTUNIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2017, Florianópolis. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Porto Alegre, p. 120-128, 2017.

NATIONAL WEATHER SERVICE. NWS Newsletters, **Service Assessments and Major Reports.** Disponível em: <<http://www.weather.gov/publications/>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

NGE-TROPICS. **Research Priorities for Tropical Ecosystems Under Climate Change Workshop Report.** Disponível em: <https://tes.science.energy.gov/workshops/NGEETropics.shtml>. Acesso em: 31 mar. 2017.

NOAA – NATIONAL WEATHER SERVICE. **Climate Prediction Center**. Disponível em: <
http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em: 31 Mai. 2018.

NOBRE, A. D. The future climate of Amazonia: scientific assessment report. 1. ed. Amazônica: ARA Articulación Regional Amazônica, 2014.

NÓBREGA, RODOLFO L.B.; GUZHA, ALPHONCE C. ; LAMPARTER, GABRIELE ; AMORIM, RICARDO S.S. ; COUTO, EDUARDO G. ; HUGHES, HAROLD J. ; JUNGKUNST, HERMANN F. ; GEROLD, GERHARD . Impacts of land-use and land-cover change on stream hydrochemistry in the Cerrado and Amazon biomes. **Science Of The Total Environment**, v. 635, p. 259-274, 2018.

NORTCLIFF, S.; ROSS, S.M.; THORNES, J.B. Soil moisture, runoff and sediment yield from differentially cleared tropical rainforest plots. **In Vegetation and Erosion**. ed J.B.Thornes. John Wiley, Chichester, UK. p. 419-436. 1990.

NORTCLIFF, S.; THORNES, J.B. Floodplain response of a small tropical stream. **In: Catchment experiments in fluvial geomorphology**. Eds T.P.Burt and D.E.Walling. Geo Books, Norwich, UK. p.73-85, 1984.

NORTCLIFF, S.; THORNES, J.B. Seasonal variations in the hydrology of a small forested catchment near Manaus, Amazonas, and its implications for management. **In: Tropical Agricultural Hydrology**. Eds R. Lal and E.W. Russell. John Wiley, New York. p. 37-57, 1981.

NORTCLIFF, S.; THORNES, J.B.; Water and cation movement in a tropical rainforest environment: 1. Objectives, experimental design and preliminary results. **Acta Amazônica**. p. 245-258, 1978.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D . **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, v. 2. p. 627, 2016.

PIMENTEL, E. T.; HAMZA, V. M. Utilização de métodos geotérmicos para delinear sistemas de fluxo de água subterrânea profunda em bacias interiores paleozoicas do Brasil. **Hydrogeology Journal**, v. 22, p. 107-128, 2014.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher; Rio de Janeiro: Fundação Nacional de material escolar, p. 278, 1976.

PITTIGLIANI, M. Controle de Qualidade de Dados Hidrometeorológicos do Simepar. In: CONGRESSO BRASILEIROS DE METEOROLOGIA. 11^{o.}, 2000, Rio de Janeiro - RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/index.php>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

PROGRAMA DE GRANDE ESCALA BIOSFERA-ATMOSFERA DA AMAZÔNIA. **Boletim Anual de Precipitação Pluviométrica Sobre a Microbacia Experimental do Igarapé Asu referente ao ano de 2016**. Disponível em: <<http://lba2.inpa.gov.br/index.php/repository/Boletins-Hidrol%C3%B3gicos/>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

RADAM. Programa de Integração Nacional. **Levantamentos de Recursos Naturais**. Radam (projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Manaus, v.18, p.626, 1978.

RANKIN-DE-MÉRONA, J.; PRANCE, G. T.; HUTCHINGS, R. W.; SILVA, M. F.; RODRIGUES W. A. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland rain forest in the Central Amazon. **Acta Amazônica**. Manaus, p.485-492, 1992.

RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazônica**. Manaus, p.7-41, 1980.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**. Cleveland-USA; n. 112, p. 3469-3481, jun. 2008.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf. Acesso em: 14 mar. 2017.

ROZEMBERG, I. M. O Sistema internacional de Unidades – SI. São Caetano, SP: escola de Engenharia de Mauá, 2000.

RHA. Recursos Hídricos e Ambientais. **Qualificação de Dados Hidrológicos e Reconstituição de Vazões Naturais no País**. Relatório Final do Contrato N° 016/ANA/2009. Agência Nacional de Águas. p. 442, 2011.

RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J. On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. **Hydrological Sciences Journal**. v. 61, p. 1-16, 2016.

RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C.A. 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.

ROSAS, A. F.; FRANÇA, M. N. C. N.; NASCIMENTO, D. A.; et al. Variabilidade espaço-temporal da precipitação em uma área de microbacia na amazônia central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. XXI. **Anais...** 2015, Brasília - DF. Disponível em: <<http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/busca-por-trabalhos-tecnicos>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

ROSS, S.M.; THORNES, J.B.; NORTCLIFF, S. The Maracá rainforest Project, II. Soil hydrology, nutrient and erosional response to the clearance of terra firme forest, Maracá Island, Roraima, northern Brazil. **The Geographical Journal**, 156:267-282. 1990.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2016.

SETTI, A. A.; LIMA, WERNECK, J. E. F.; CHAVES, A. G. M.; et al. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2° ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001.

SILVA, J. S. **Altimetria espacial em zonas úmidas da bacia Amazônica: aplicações hidrológicas**. Éditions universitaires européennes, 2010.

SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; et al. Radar Altimetry Aids Managing Gauge Networks. **Water Resources Management**. n. 28, p. 587-603, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: CARLOS EDUARDO MORELLI TUCCI. Hidrologia : Ciência e Aplicação. 2ed.Porto Alegre: Editora da Universidade, p. 35-51, 1993.

SOUZA, C. A. S. **Turnover e biomassa de raízes finas e suas relações com o padrão de crescimento em diâmetro de árvores em uma floresta de terra firme na amazônia central**. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 2016.

STRAHLER A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4 – II, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). **Applied Hydrology**. New York, 1964.

TOEBES, C.; OURYVAEV, V. **Representative and experimental basins**, An international guide for research and practice. U.N.E.S.C.O., Paris, p. 348,1970.

TOLEDO, Y. I. M.; OTANI, M. N. **Projetos de Manejo de Microbacias Hidrográficas no Brasil**. Informações Econômicas, São Paulo, v. 26, n.11, p. 47-51, 1996.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Soil hydraulic properties and van Genuchten parameters for an Oxisol under pasture in central Amazonia, **in: Amazonian Deforestation and Climate**, p. 101-124, John Wiley, Chichester, 1996.

TOMASELLA, J.; NEILL, C.; FIGUEIREDO, R.; NOBRE, A. D. Balanços Hídrico e Químico em Escala de Bacia de Drenagem Incluindo Exportações de Nutrientes de Florestas Intactas e Áreas Perturbadas. **In: Amazonia and Global Change**, 2009.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D. ; WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S.M. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. **Hydrological Processes**. v. 22, p. 2133-2147, 2008.

TOMASELLA. J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L.A.; NOBRE A.D.; WATERLOO, M.; OLIVEIRA, S. M. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrologica e behaviour. **Hidrological Processes**, 2007. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hyp.6813>> Acesso em: 13 Fev. 2019.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo, Navegar, 2002.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, 2006.

TRANCOSO, R. **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas da Amazônia**. Dissertação de Mestrado. PPGBT – INPA/UFAM. p. 139, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), Edusp, ABRH, v. 1. p. 952, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH GWP, v. 1, p. 678, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH GWP ANA, v. 1. p. 350, 2003.

UIL, H.; GEER, F.C.; GEHERELS, J.C. K. **State of Art on Monitoring And Assessment of Groundwaters**. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. The Netherlands Institute of Applied Geoscience: Lelystad, v.4, p. 84, 1999.

UNESCO/WHO/UNEP. **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota**. 2° ed. Printed in Great Britain: University Press, Cambridge, 1996.

VAL, A. L.; SANTOS, G.M. **Caderno de Debates do Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos** (GEEA). Tomo I. 1 ed.. Manaus - AM: Editora INPA, v. 1, p. 184, 2008.

VIEIRA, F. C. B.; BRITO, E. B. B. Educação Ambiental: uma análise da poluição e contaminação dos igarapés urbanos na cidade de Manaus.. **In: VIII Fórum Ambiental**, 2012, Tupã. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2012.

VILLAS BOAS, M. D. **Ferramentas Para Avaliação da Rede de Monitoramento de Qualidade de Água da Bacia do Rio Piabanha – RJ Com Base em Redes Neurais e Modelagem Hidrológica Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE**, Tese de doutorado. Programa de Engenharia Civil UFRJ/ COPPE, Rio de Janeiro, 2018.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, p. 245, 1975.

WATERLOO, M. J.; TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. **Hydrological measurement techniques**, Igarapé Asu Catchment. Pan-Amazônia – Parama Project, p. 35, 2004.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices**. v.1, 2009.

ZALEWSKI, M., JANAUER, G.A., JOLÁNKAI, G. Ecohydrology – A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. International **Hydrological Programme**. Paris. 1997.

ANEXOS**Anexo 1 – Torre K34 e a bacia da seção 2 da BEIA ao fundo**

Foto: Adam Collins

Anexo 2 – Relatório de campo



 Ministério da Ciência e Tecnologia
 

Relatório de Atividades de Campo. ZFII / Hidrologia.

Data: 21.05.2015 Hora inicial e final: 14:50-15:16 Veículo utilizado: Carro LBA-NOZ

Responsável: Denis Nascimento Acompanhante: Adriana Rosas

Local: _____

Seção Seção II Seção III Pluviógrafos Base/ ZFII Outros

Site: _____

Transecto TS/ piezômetros Piezômetros/ Transdutor de pressão Poço Torre/ Pluviógrafos: 1 2 3 4 5 6 7

Pluviógrafo S1 Pluviógrafo S2 Sensores/Açú Base/ ZFII Outros

Atividades em:

Medidas com sonda Taqueometria em piezômetros Transdutor de pressão Pluviógrafo Sensores

Régua / Nivel Subst. sílica Subst. bateria Download/ upload de dados Manutenção Vazão

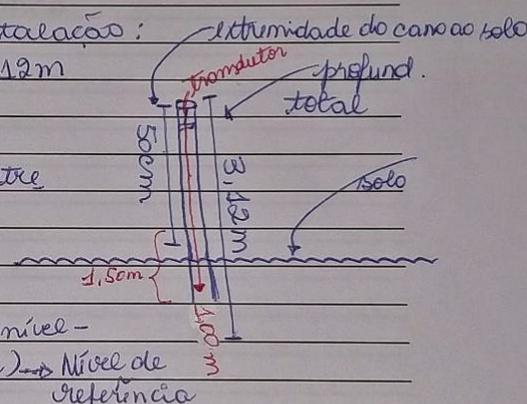
Outros Piezômetro Base 04 (P.R04)

Observações:

* Nível do lençol freático: 59 cm - 50 cm do cano = 9 cm de nível as 14:54h.

Informações técnicas da instalação:

- Profundidade do P.R4: 3,12 m com a tampa.
- Medida do cano do solo a extremidade: 50 cm.
- Profundidade do transdutor dentro da água: 91 cm (59 cm do nível - 1,50 m da instalação do transdutor) → Nível de referência

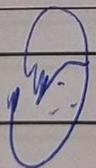


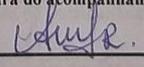
Procedimentos:

- Instalação do transdutor no piezômetro base 04.
- Transdutor lançado as 15:04h e deixado definitivamente para registro as 15:16h.

Resultados:

Positivo

Assinatura do responsável: 

Assinatura do acompanhante: 

Av. André Araújo, 2936 - Campus II - Bairro Aleixo - CEP: 69060-000 - Manaus/Amazonas
 Fones: + 55 92 3643-3634 / E-mail: hidrolba.mao@hotmail.com

Anexo 3 – Fotografias da rede de drenagem da seção 2

Igarapé Asú – 2° ordem



Igarapé Asú – 1° ordem