



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MODELAGEM HIDROLÓGICA DE MACRO-ESCALA PARA ESTUDO DE IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO JURUÁ

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Luiz Valerio de Castro Carvalho (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: luizvalerio@mailcity.com

Dra. Luz Adriana Cuartas Pineda (CCST/INPE, Orientadora)

E-mail: adriana.cuartas@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Daniel Andrés Rodriguez (INPE)

Julho de 2014

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Luiz Valerio de Castro Carvalho**

Local de Trabalho: **CCST/INPE**

Título do Projeto: **Modelagem hidrológica de macro-escala para estudo de impacto de mudanças climáticas na bacia do rio Juruá.**

Tipo de bolsa: **Bolsa PIBIC-IC**

Período: **Agosto/2013 – Julho/2014**

MODELAGEM HIDROLÓGICA DE MACRO-ESCALA PARA ESTUDO DE IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO JURUÁ

Luiz Valerio de Castro Carvalho (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)¹
Luz Adriana Cuartas Pineda (CCST/INPE, Orientadora)²
Daniel Andres Rodriguez (CCST/INPE, Colaborador)³

RESUMO

A modelagem hidrológica procura representar o comportamento de uma bacia hidrográfica a partir do conceito de sistema, pois contém entradas e saídas mensuráveis como a precipitação e a vazão. Sua aplicação abrange de micro a macro bacias, possibilitando a previsão da vazão diária de um rio ou a ocorrência de eventos extremos como cheias e estiagens, entre outros. O objetivo geral deste projeto de Iniciação Científica, iniciado em Agosto de 2013, foi a calibração do Modelo Hidrológico Distribuído (MHD-INPE) para a bacia do rio Juruá, sub-bacia do rio Amazonas, com 163.589 km² de área de drenagem e localizada entre os estados do Acre e Amazonas. Após a calibração do modelo com dados de vazão observados provenientes da Agencia Nacional de Águas (ANA), foram usadas as saídas do Modelo Climático Regional Eta-CPTEC/INPE como dado de entrada (precipitação e variáveis climáticas) para o MHD-INPE, a fim de se prever a vazão mensal do rio Juruá para os períodos futuros de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. Simularam-se quatro cenários de concentração de gases do efeito estufa: o não perturbado padrão definido como controle, e os de baixa, média e alta perturbação. Utilizou-se o Modelo Numérico do Terreno (MNT) SRTM 90m do CGIAR-CSI na alta (re-amostrado para 100 m) e baixa (10 km) resoluções, as bases de dados com 1 km de resolução do SOTERLAC para os mapas de solos e PROVEG para o mapa de vegetação, e mapas de uso do solo de 1982 a 1990 de banco de dados da Universidade Federal de Viçosa. Na calibração observou-se uma variação de 1,6% entre a vazão observada e a simulada no cenário de controle, de 4.712 para 4.785 m³/s. A menor vazão média simulada foi de 2.767 m³/s no período 2071-2099 para o cenário de média perturbação. Para o mesmo período, a maior vazão média estimada foi de 3.952 m³/s para o cenário de baixa perturbação. Estimou-se uma redução média de 3,2% da precipitação no período 2011-2099. Concluiu-se que a vazão do Rio Juruá diminuirá gradualmente para qualquer cenário de concentração de gases do efeito estufa.

¹ Aluno do Curso de Geografia - **E-mail: luiz.carvalho@inpe.br**

² Pesquisadora do Centro de Ciências do Sistema Terra - **E-mail: adriana.cuartas@inpe.br**

³ Pesquisador do Centro de Ciências do Sistema Terra - **E-mail: daniel.andres@inpe.br**

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Ciclo Hidrológico.....	3
Figura 3.1 - Bacia do rio Juruá e vista aérea sobre a cidade de Cruzeiro do Sul-AC....	9
Figura 3.2 - Caracterização climática da bacia do Rio Juruá.....	10
Figura 3.3 - Tipos de solos encontrados na bacia do rio Juruá.....	11
Figura 3.4 - Formações vegetais encontradas na bacia do rio Juruá.....	15
Figura 3.5 - Floresta Ombrófila Densa.....	16
Figura 3.6 - Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras.....	16
Figura 4.1 - MNT da baixa resolução (10 km) com a localização das subestações.....	19
Figura 5.1 - Início do arquivo de entrada parfix.hig do MHD-INPE.....	21
Figura 5.2 - Arquivo de entrada parsolo.hig do MHD-INPE.....	22
Figura 5.3 - Início do arquivo de entrada parveg.hig do MHD-INPE.....	23
Figura 5.4 - Arquivo de entrada blocos.hig do MHD-INPE.....	23
Figura 5.5 - Amostra do arquivo de entrada blocos.hig do MHD com os diferentes usos de solo para o ano de 1981 para as células 318 a 341.....	24
Figura 5.6 - Arquivo de entrada parbacia.hig do MHD-INPE.....	25
Figura 5.7 - Arquivo de entrada parajuste.hig do MHD-INPE antes da calibração.....	25
Figura 5.8 - Saída do MHD-INPE antes da calibração.....	26
Figura 5.9 - Saída para o MHD-INPE após calibração.....	27
Figura 5.10 - Arquivo de entrada parajuste.hig após a calibração do MHD-INPE.....	27
Figura 5.11 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 1.....	28
Figura 5.12 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 2.....	28
Figura 5.13 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 3.....	29
Figura 5.14 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 4.....	29
Figura 5.15 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 5.....	30
Figura 5.16 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 6.....	30
Figura 5.17 - Exemplo de correção da precipitação do Modelo Climático Eta CPTEC/INPE pelo programa FORTRAN Princ para o cenário de controle.....	31

Figura 5.18 - Exemplo de correção da temperatura do Modelo Climático Eta CPTEC/INPE pelo programa FORTRAN Princ para o cenário de controle.....	32
Figura 5.19 - Vazão média mensal observada e simulada para o período de 1982 a 1990 e cenário controle (CTL).....	34
Figura 5.20 - Vazão média mensal simulada para o período de 2011 a 2040 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	36
Figura 5.21 - Vazão média mensal simulada para o período de 2041 a 2070 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	36
Figura 5.22 - Vazão média mensal simulada para o período de 2071 a 2099 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	36

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Distribuição dos tipos de solo para a bacia do rio Juruá.....	12
Tabela 4.1 - Localização dos postos fluviométricos ao longo do rio Juruá.....	18
Tabela 5.1 - Precipitação média simulada por período e por cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	32
Tabela 5.2 - Precipitação média simulada por período e por cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	33
Tabela 5.3 - Vazão média simulada para os três períodos futuros para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	34
Tabela 5.4 - Variação da vazão média simulada em relação a observada (1982 a 1990).....	35
Tabela 5.5 - Variação da vazão média simulada em relação a de controle (1982 a 1990).....	35
Tabela 5.6 - Variação da Vazão média anual simulada entre os períodos de 2011 a 2040 e 2071a 2099 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.....	35

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
Eta-CPTEC/INPE	- Modelo Atmosférico η
FORTRAN	- Tradutor de Fórmulas
MGB	- Modelo de Grandes Bacias
MHD-INPE	- Modelo Hidrológico Distribuído desenvolvido pelo INPE
MNT	- Modelo Numérico do Terreno
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
UPH	- Unidades de Planejamento Hídricos

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 Hidrologia básica.....	2
2.2 Bacia hidrográfica.....	3
2.3 Sistemas e modelos.....	5
3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JURUÁ.....	8
3.1 Rio Juruá.....	8
3.2 Clima.....	9
3.3 Geomorfologia e geologia.....	11
3.4 Solos.....	11
3.5 Vegetação.....	14
4 METODOLOGIA.....	18
5 RESULTADOS.....	21
5.1 Calibração.....	21
5.2 Simulações para os períodos futuros.....	30
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O rio Juruá é um dos mais importantes contribuintes do rio Solimões. Nasce no porção peruana da Serra da Contamana e atravessa os estados do Acre e do Amazonas. No Brasil a sua bacia hidrográfica se estende por 177.300 km², contribuindo com 4,6% dos 3,89 milhões de km² da bacia do rio Amazonas. Para a modelagem hidrológica, a área da bacia foi restrita à 163.589 km². É uma região dominada pelo bioma Amazônia; floresta ombrófila, intensa pluviosidade e densa rede de drenagem onde vivem pessoas sujeitas ao ciclo sazonal das chuvas e cheias distribuídas entre povoados ribeirinhos e núcleos urbanos como as cidades de Cruzeiro do Sul-AC com 78.507 habitantes e Eirunepé-AM com 30.665 habitantes.

A contribuição da modelagem hidrológica se estende desde a previsão da vazão diária de um rio a ocorrência de eventos extremos como cheias e estiagens. Por possibilitar um maior entendimento do ciclo hidrológico nas escalas local e regional, a modelagem hidrológica de macro-escala para bacias com mais de 10.000 km² tornou-se uma ferramenta útil para a previsão dos impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. As mudanças climáticas estão associadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa de origem antropogênica na atmosfera como o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄).

Este trabalho objetiva, portanto, a calibração do Modelo Hidrológico Distribuído do INPE (MHD-INPE) para a bacia do rio Juruá e sua integração ao Modelo Climático Regional Eta do CPTEC/INPE a fim de se simular para os períodos futuros de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, a vazão mensal para os quatro cenários de concentração de gases do efeito estufa disponíveis: o não perturbado padrão definido como controle, e os de baixa, média e alta perturbação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Hidrologia Básica

A precipitação é qualquer umidade derivada da atmosfera e depositada na superfície terrestre, como a chuva, o granizo, o orvalho, a neblina, a neve ou a geada. Resumidamente, é formada a partir da ascensão adiabática do ar úmido das camadas mais baixas da atmosfera para as mais altas até que sejam atingidas as condições de saturação, quando se inicia a formação e o crescimento de gotas de água (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 41).

Uma vez precipitada, simplificada, assume-se que a água é em parte interceptada pela vegetação ou outros obstáculos e em parte retida no solo. O escoamento superficial é gerado quando a capacidade de infiltração do solo é excedida ou o solo está saturado, e compreende todo o transporte da água na Terra, tanto a água que se desloca após a precipitação quanto a encontrada em um rio. Divide-se entre o escoamento direto (superficial e subsuperficial) e o escoamento básico (subterrâneo). O escoamento é afetado pela duração, intensidade e recorrência das chuvas, por fatores fisiográficos como a área de drenagem, o relevo, a permeabilidade e a capacidade de infiltração do solo e por fatores antrópicos como a construção de reservatório (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 102-107).

A evaporação é o processo pelo qual a água se torna vapor de água. Esse processo é controlado pela energia disponível na superfície de evaporação e pelas condições atmosféricas, como por exemplo a pressão de vapor. Os fenômenos físicos que governam a perda de água em forma de vapor de um corpo de água, do solo ou da vegetação são semelhantes. A transpiração é a fração da evaporação que chega a atmosfera a partir do solo através da vegetação. A evaporação potencial é a quantidade de água evaporada por unidade de área e por unidade de tempo para um corpo de água ideal sobre condições atmosféricas reais (SHUTTLEWORTH, 1993, p. 4.1-2).

2.2 Bacia Hidrográfica

O ciclo hidrológico (Figura 2.1) é um princípio fundamental para a hidrologia. Comporta-se como um grande motor hidráulico alimentado pela energia solar e guiado pela gravidade que ocorre indefinidamente independente da presença humana (MAIDMENT, 1993, p. 1.3). Resume-se como o movimento da água dos oceanos para os continentes através da atmosfera e o seu retorno e o escoamento e o movimento direto da água entre a superfície e a atmosfera. Os balanços de água em sistemas abertos podem ser definidos a fim de se detalhar o ciclo hidrológico para uma região hidrologicamente determinada por limites políticos, topográficos ou arbitrários. Ao se optar por limites topográficos define-se uma bacia hidrográfica, desde que os cursos d'água conectem-se de modo a permitir uma única saída para a vazão efluente (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 2-6).

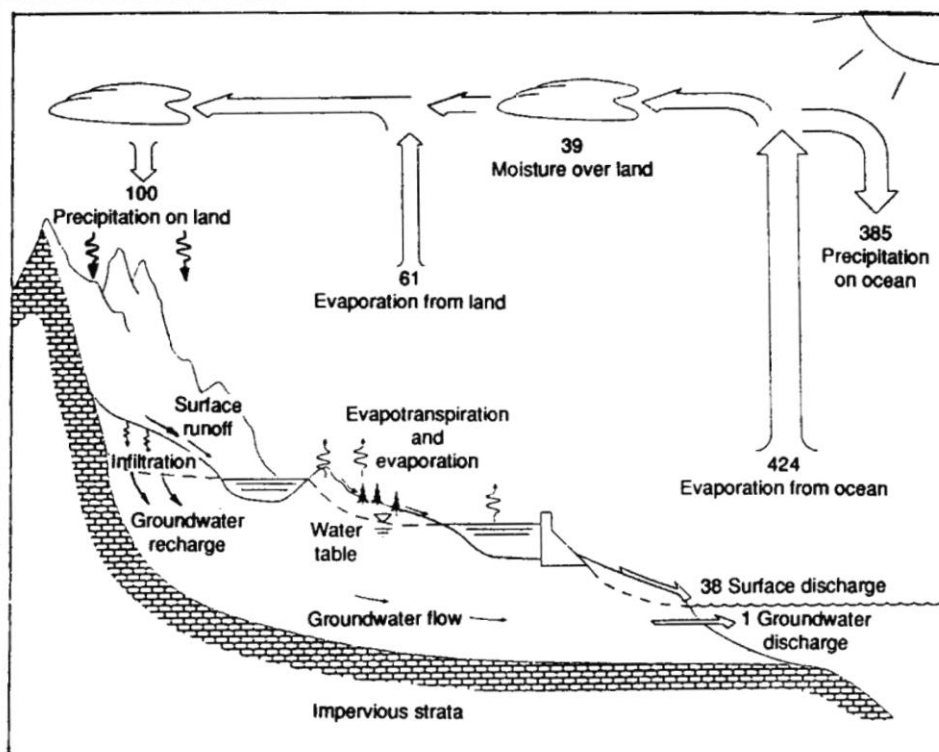


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico.

Fonte: MAIDMENT, 1993, p. 1.4.

As características físicas de uma bacia hidrográfica somadas ao regime hidrológico são importantes para definir o seu comportamento e permitir a determinação de dados e valores onde não existem estações hidrométricas (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 12).

A área de drenagem (A) é a área plana delimitada pelos divisores topográficos e expressa em quilômetros quadrados (km²) ou hectares (ha) (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 13).

O tempo de concentração (tc) é o tempo para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 103-104).

A forma da bacia é importante por influenciar no tempo de concentração e é comumente relacionada a figuras geométricas conhecidas. O fator de compactidade (Kc) relaciona o perímetro da bacia a uma circunferência com área igual a sua área. Kc próximos a 1 indicam bacias mais sujeitas a enchentes:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}; \quad (2.1)$$

onde P é o perímetro da bacia em km e A é a área da bacia em km² (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 13-14).

A relação entre a área da bacia e o quadrado do comprimento do dreno mais longo é conhecido por fator de forma (Kf). Valores próximos a 0 indicam bacias menos sujeitas a enchentes:

$$Kf = \frac{A}{L^2}; \quad (2.2)$$

onde A é a área da bacia em km² e L é o comprimento do curso mais longo da bacia em km (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 14).

A densidade de drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia. Bacias com Dd próximos a 0,5 km/km² são pouco drenadas, enquanto bacias com Dd próximos a 3,5 km/km² são bem drenadas:

$$Dd = \frac{L}{A}; \quad (2.3)$$

onde L é o somatório do comprimento dos cursos d'água da bacia e A a sua área (VILLELA; MATTOS, 1975, p.16).

O relevo é de grande importância pois a velocidade do escoamento superficial depende diretamente da declividade e determina os picos das enchentes e a erodibilidade do solo. A variação da altitude ao longo de uma bacia e a sua elevação média influenciam a precipitação, a evaporação, a transpiração e o deflúvio (VILLELA; MATTOS, 1975, p.17-21).

As características geológicas de uma bacia hidrográfica são importantes por afetar o escoamento superficial, o movimento da água em subsuperfície, a infiltração da água no subsolo e os processos pedogenéticos. (ANA, 2013, p.139).

2.3 Sistemas e Modelos

Sistema é "qualquer engenho que responde, através de uma saída, a uma entrada" e modelos são "representações do comportamento do sistema" (TUCCI, 1998, p. 15-16).

Os modelos são classificados de acordo com algumas de suas características como serem lineares ou não, conceituais ou empíricos e concentrados ou distribuídos. Modelos lineares satisfazem o princípio da superposição, ou seja, para uma entrada X₁ tem-se uma saída Y₁, para uma X₂ uma saída Y₂, para uma X_n uma saída Y_n. Modelos conceituais baseiam-se em conceitos físicos enquanto os empíricos em aproximações a partir de observações em campo, sem que necessariamente conceitos físicos sejam aplicados. A desconsideração da variabilidade espacial leva a modelos concentrados, uma vez que apenas a variação temporal é processada. Nos modelos distribuídos,

normalmente os mais complexos, a variação dos fenômenos físicos no espaço se faz presente. (TUCCI, 1998, p. 20-24).

Os modelos hidrológicos são ferramentas capazes de representar o comportamento dos processos naturais encontrados em uma bacia hidrográfica. Como as bacias não são dimensionadas artificialmente, é preciso monitorá-las constantemente a fim de que as respostas do modelo sejam previstas após variações nas entradas como precipitações extremas, estiagens e alterações no uso do solo (TUCCI, 1998, p. 13).

Dividem-se entre modelos de comportamento, de otimização e de planejamento. Modelos de comportamento são desenvolvidos e aplicados quando se busca antever a saída em função de variações na entrada, como quando se deseja conhecer a vazão de um rio em um ponto caso o uso do solo a montante seja alterado. Modelos de otimização são específicos e buscam encontrar a melhor solução para um projeto, como o menor diâmetro comercial da malha de abastecimento de uma cidade. Modelos de planejamento são aplicados a escalas maiores, como as regionais, e buscam integrar soluções físicas com cenários econômicos e sociais, podendo conter os outros dois tipos mencionados (TUCCI, 1998, p. 24-25).

Entre os modelos de comportamento, os modelos precipitação-vazão focam os processos de precipitação e vazão contidos no ciclo hidrológico. São as suas entradas mais importantes a distribuição espacial da chuva, as perdas por interceptação, evaporação e transpiração, o fluxo da água através do solo pela infiltração, percolação e a água subterrânea, o escoamento superficial, subsuperficial e a vazão nos corpos d'água. São desenvolvidos para completar lacunas nas séries de vazões existentes ou estimar vazões futuras em cenários simulados de alteração no uso do solo da bacia hidrográfica (TUCCI, 1998, p. 227).

As maiores limitações dos modelos hidrológicos são a disponibilidade de dados de precipitação. No Brasil, existem poucos dados sobre a evapotranspiração (TUCCI, 1998, p. 228-229).

Recentemente, a aquisição dos dados físicos das bacias tem sido feito por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e sensoriamento remoto, com a inserção de características físicas e climáticas. A integração entre Modelos Numéricos de Terreno (MNT) e SIG aos modelos hidrológicos é um exemplo importante. Os parâmetros da bacia hidrográfica inseridos no modelo são determinados com base nas características físicas pertinentes e ajustados a partir da comparação com os valores observados de entrada e saída. Alguns modelos contam com rotinas de otimização (TUCCI, 1998, p. 231).

3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JURUÁ

3.1 Rio Juruá

O rio Juruá nasce na porção peruana da Serra da Contamana a 453 m de altitude. Percorre 380 km antes de transpor a fronteira brasileira no noroeste do estado do Acre, no município de Marechal Thaumaturgo (ANA, 2013, p. 129). Apresenta direção N-S até ser abastecido pelo Rio Ipixuna. A partir daí assume direção E-NE e depois N-NE até a foz no Rio Solimões. Percorre aproximadamente 3.280 km com um desnível de 410 metros. É um rio sinuoso com extensos depósitos aluvionares e terraços fluviais datados do Quaternário em sua calha, de águas turvas com elevada carga de sedimentos com cheias ocorrendo de dezembro a maio e estiagem de setembro a novembro. Os seus principais afluentes, os rios Liberdade, Gregório, Eiru e Tarauacá encontram-se em sua margem direita (ANA, 2013, p. 129-130). Integra junto aos rios Xingu, Tapajós, Madeira, Purus, Jutai e Javari os afluentes da margem direita do Rio Amazonas (Figura 3.3). Somam 2,54 milhões de km² de área de drenagem onde vivem cerca de 5 milhões de pessoas (ANA, 2012, p. 23).

No território brasileiro a bacia hidrográfica do rio Juruá (Figura 1) cobre uma área de 177.300 km² entre os estados do Acre e do Amazonas. Em sua porção alta, com largura de 425 km, encontram-se os seus principais afluentes. Suas porções média e baixa caracterizam-se por serem estreitas, com largura mínima próxima a 40 km (ANA, 2013, p. 129-130).

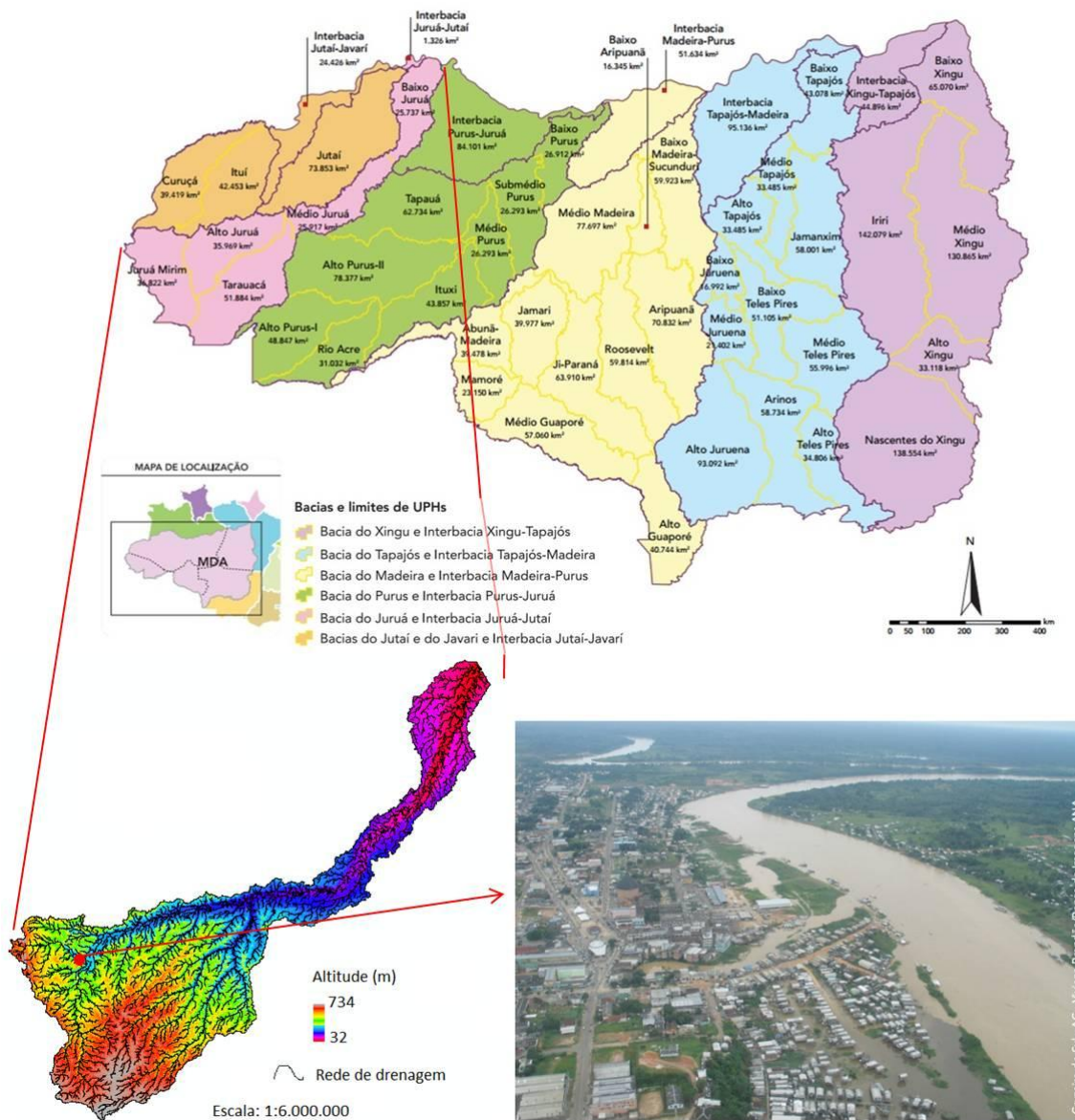


Figura 3.1 – Bacia do rio Juruá e vista aérea sobre a cidade de Cruzeiro do Sul-AC.
 Fonte: Adaptado de ANA, 2013; SRTM CGIAR-CSI.

3.2 Clima

Com precipitação média próxima a 2.300 mm por ano, a região amazônica tem estação chuvosa entre os meses de Novembro e Março e a estação seca entre os meses de Maio e Setembro. Por diversos fatores, tem sido difícil calcular o balanço hídrico da região amazônica. Salati et al (1979) concluiu que suas chuvas são compostas

igualmente pela água oriunda da evapotranspiração mais pela umidade evaporada do Oceano Atlântico. Após diversos estudos, estimam-se que a evapotranspiração potencial média seja de 4 mm/dia. De acordo com Matsuyama (1992), a evapotranspiração calculada pelo balanço hídrico foi de 1139,1 mm do total de 2152,6 mm precipitados ou 53%; o escoamento superficial foi de 1013,5 mm. (FISCH et al., 1996).

O clima na bacia hidrográfica do rio Juruá (Figura 3.2) segundo a classificação Koeppen atualizada por Kottek et al. (2006) é do tipo A (tropical, megatérmico úmido ou subúmido). Divide-se entre os subtipos Am (monsônico com curta estação seca) na maior parte do estado do Acre e Af (úmido) no estado do Amazonas e em uma fração da região leste do estado do Acre (ANA, 2013, p. 137-138).

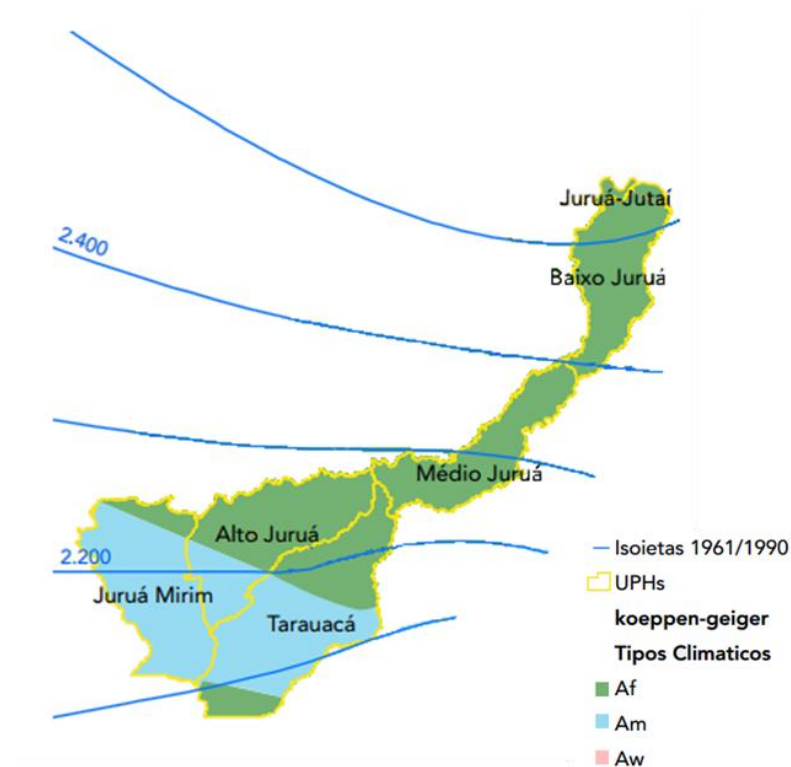


Figura 3.2 – Caracterização climática da bacia do Rio Juruá.
Fonte: Adaptado de ANA, 2013.

3.3 Geomorfologia e Geologia

Geomorfologicamente, a bacia do rio Juruá situa-se nas unidades da Depressão do Solimões e das planícies fluviais e/ou lacustres. As cotas altimétricas variam de 50 a 450 metros. Geologicamente, a bacia do rio Juruá estende-se pelas bacias sedimentares do Solimões e do Acre. São bacias formadas por coberturas cenozoicas com até 53 milhões de anos e constituídas basicamente por rochas sedimentares inconsolidadas como arenitos e argilitos na porção alta da bacia do Juruá e de arenitos, siltitos e argilitos da formação Iça nas porções médias e baixa. No trecho alto do rio Juruá-Mirim, localizado na fronteira entre o Brasil e o Peru, encontram-se afloramentos cristalinos associados ao transporte de sedimentos da Cordilheira dos Andes (ANA, 2013, p. 129-141).

3.4 Solos

Em conjunto, os luvisolos e os argissolos (Figura 3.3) correspondem a dois terços dos solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Juruá. (ANA, 2013, p. 160-161).

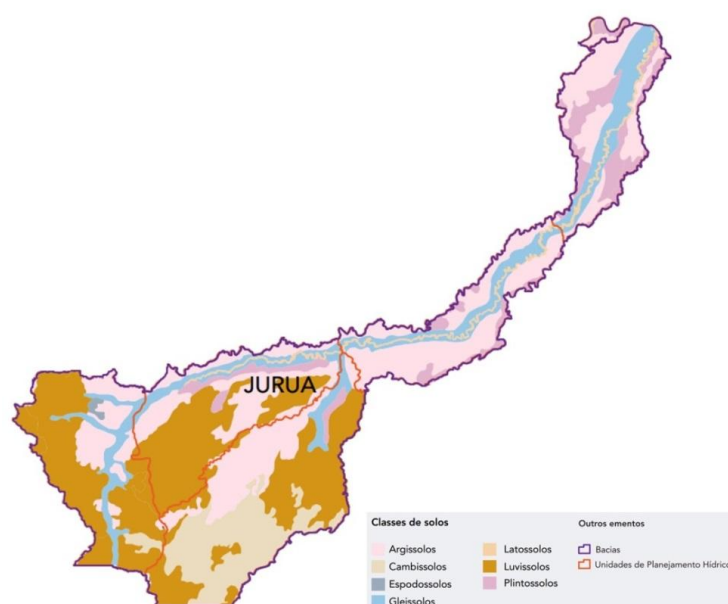


Figura 3.3 – Tipos de solos encontrados na bacia do rio Juruá.
Fonte: Adaptado de ANA, 2013.

São encontrados também cambissolos, espodossolos, gleissolos, plintossolos e latossolos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Distribuição dos tipos de solo para a bacia do rio Juruá.

Tipo de Solo	Área (km²)	(%)
Luvisolos	60.103	33,9
Argissolos	58.116	32,8
Gleissolos	24.222	13,7
Cambissolos	18.874	10,6
Plintossolos	10.945	6,2
Latossolos	4.619	2,6
Espodossolos	451	0,2
Total	177.330	100

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Os luvisolos são encontrados em 60.103 km² ou 33,9% da área de da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural semelhantes aos argissolos, e contém argila de alta atividade. São de imperfeitamente a bem drenados, profundos e podem apresentar pedregosidade superficial. De estrutura em blocos ou prismática, sua acidez costuma ser moderada a ligeiramente alcalina (EMBRAPA, 2006, p. 83).

Os argissolos se distribuem por 58.116 km² ou 32,8% da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos minerais que apresentam aumento gradativo de argila do horizonte superficial A para o horizonte B, levando a uma transição clara abrupta ou gradual que lhes caracterizam como do tipo textural (Bt). Possuem profundidade variada, são moderadamente ácidos, ricos em argila caulínica. Apresentam textura de argilosa a arenosa para o horizonte A e textura de média a muito argilosa para o horizonte B (EMBRAPA, 2006, p. 76). São solos vulneráveis aos processos de erosão hídrica, principalmente quando conjugados a relevos ondulado ou forte ondulado. São encontrados nas porções central e oeste do estado do Amazonas oriundos de sedimentos dos períodos Cretáceo e Paleógeno, comumente classificados como distróficos ou álicos (TEIXEIRA et al., 2010, p. 77).

Os gleissolos correspondem a 24.222 km² ou 13,7% da área da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos hidromórficos compostos por material mineral e com teores médios a alto de matéria orgânica. Caracterizam-se pela presença de horizonte glei que se manifesta em cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas. Encontrados ao menos periodicamente saturados por água e são mal ou muito mal drenados. Desenvolveram-se a partir de sedimentos, comumente recentes próximos a cursos d'água em ambientes de hidromorfia e redutores de ferro praticamente livres de oxigênio. São encontrados no relevo plano dos terraços aluviais e lacustres em áreas abaciadas e depressões. Sua estrutura é, no geral, maciça. Quando seco, apresentam fendas (EMBRAPA, 2006, p. 80-81). São geralmente eutróficos quando encontrados nas planícies de inundação dos rios de água barrenta como o Solimões, Madeira, Purus e Juruá. Suportam uma vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea. São pouco estruturados e com elevados teores de silte e areia fina em sua textura (TEIXEIRA et al., 2010, p. 74-81).

Os cambissolos distribuem-se por 18.874 km² ou 10,6% da área da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos minerais com horizonte B incipiente que se desenvolveram a partir de diversos tipos de rochas e em variados tipos de climas e relevo. Desse modo, variam de fortemente a imperfeitamente drenados e de rasos a profundos (EMBRAPA, 2006, p. 77). No Amazonas costumam ser rasos, distróficos, ácidos ou muito ácidos, com baixo a médio teores de matéria orgânica, imperfeitamente drenados e com altos teores de silte na porção oeste do estado (TEIXEIRA et al., 2010, p. 79).

Os plintossolos correspondem 10.945 km² ou a 6,2% (ANA, 2013, p. 160) da bacia do rio Juruá. São solos minerais imperfeitamente ou mal drenados que comumente se desenvolvem em ambientes saturados com água como as várzeas, onde o relevo for plano ou suavemente ondulado e houver depressões ou restrições ao percolamento e ao escoamento da água. Se caracterizam pela presença do mineral plintita. Normalmente são solos fortemente ácidos. São encontrados nos interflúvios dos rios Madeira, Purus, Juruá, Solimões e Negro (EMBRAPA, 2006, p. 89).

Os latossolos ocupam 4.619km² ou 2,6% da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos minerais com horizonte B latossólico que se caracterizam por serem muito evoluídos e praticamente livres de minerais menos resistentes ao intemperismo. Variam de bem a fortemente drenados e são normalmente muito profundos (EMBRAPA, 2006, p. 82). De estrutura granular ou em blocos subangulares no Amazonas, são bastante porosos e permitem uma rápida drenagem da água (TEIXEIRA et al., 2010, p. 78).

Os espodossolos são encontrados em 451 km² ou apenas 0,2% da área da bacia do rio Juruá (ANA, 2013, p. 160). São solos minerais com horizonte B espódico, de textura predominantemente arenosa e de drenagem variável. Normalmente distróficos e de fertilidade moderada a fortemente ácida, desenvolveram-se a partir de material arenoquartzosos onde a umidade é elevada, o clima tropical ou subtropical, o relevo plano, suavemente ondulado ou em áreas onde há abaciamento ou depressões (EMBRAPA, 2006, p. 77). Normalmente profundos no Amazonas, de estrutura em grãos soltos e reduzida capacidade de acumular água, sustentam uma vegetação esparsa conhecida por campinarana.(TEIXEIRA et al., 2010, p. 80).

3.5 Vegetação

Foram identificados na bacia hidrográfica do rio Juruá três tipos de formações vegetais (Figura 3.4): as florestas ombrófilas densa e aberta e a campinarana (ANA, 2013, p. 201).

As florestas ombrófilas, ou tropicais úmidas, ocorrem entre os trópicos de Câncer e o de Capricórnio quando as terras forem baixas e a pluviosidade elevada e distribuída regularmente ao longo do ano. Se caracterizam pela elevada biomassa e biodiversidade, elevada transpiração de sua vegetação, dossel contínuo com árvores com até 60 metros, estratificação variada devido a variação local da intensidade da penetração da luz solar e grande reciclagem de sua biomassa (CONTI; FURLAN, 1996, p. 140-143).

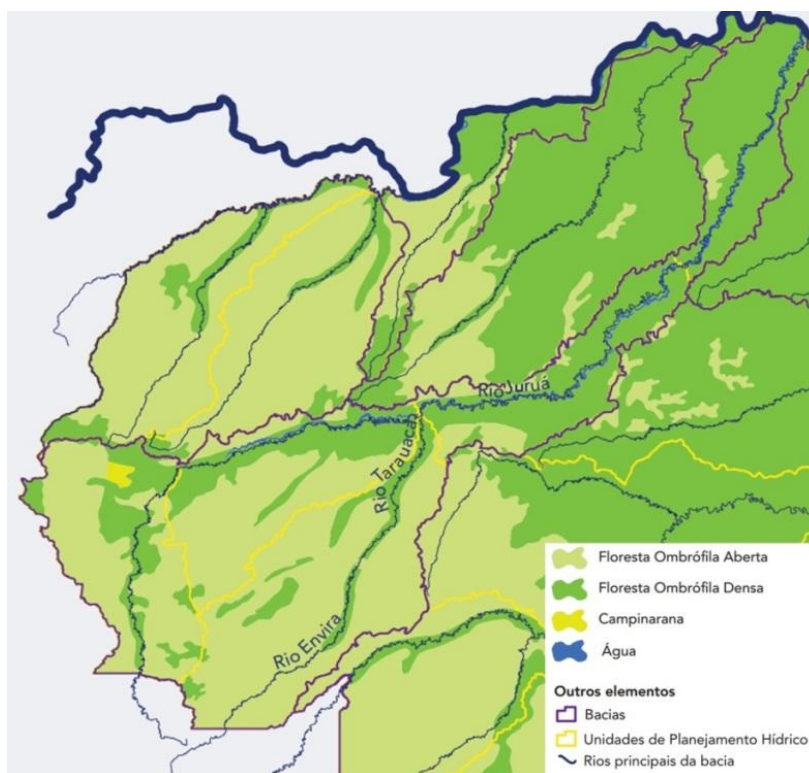


Figura 3.4 – Formações vegetais encontradas na bacia do rio Juruá.
 Fonte: Adaptado de ANA, 2013.

A floresta ombrófila densa (Figura 3.5) é caracterizada pelas folhas sempre verdes e encontram-se onde o clima é permanentemente úmido com pluviosidade superior a 2.300 mm por ano. Influenciada pela altitude divide-se em quatro tipos: montana de 600 a 2.000 m [*a priori* não encontrada na bacia hidrográfica do rio Juruá]; a submontana de 100 a 600 m; de terras baixas, encontradas a até 100 m (que conta com árvores com até 50 metros de altura); e a aluvial, situada em baixas altitudes e que incluem as várzeas e os igapós (ANA, 2013, p. 199).



Figura 3.5 – Floresta Ombrófila Densa.
Fonte: Adaptado de ANA, 2013.

A floresta ombrófila aberta (Figura 3.6) é caracterizada pelo maior espaçamento entre suas árvores quando comparadas a do tipo densa, resultando em uma relativa abertura da copa. Distribuem-se onde o clima é úmido e com índices pluviométricos próximos a 1.500 mm por ano. Dividem-se basicamente em três tipos em função da variação altimétrica: a submontana entre 100 e 600 m; a das terras baixas até 100 m; e a aluvial em áreas alagáveis. Suas principais subformações vegetais são os bambus, as palmeiras e os cipós (ANA, 2013, p. 199).

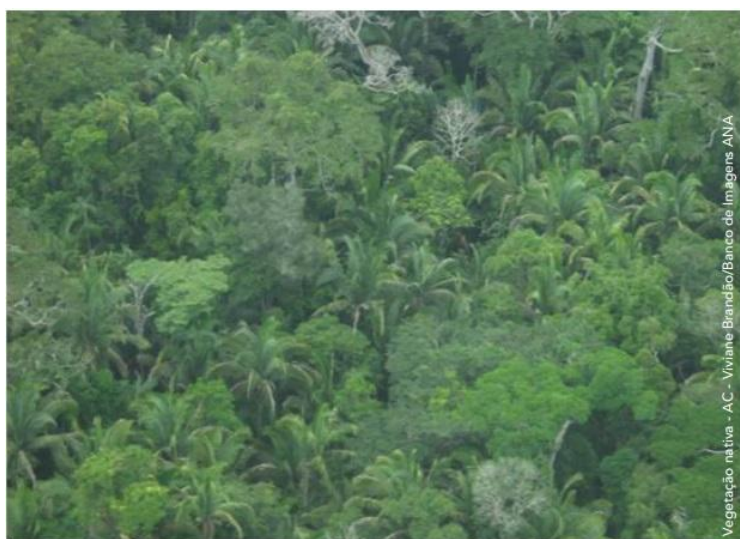


Figura 3.6 – Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras.
Fonte: Adaptado de ANA, 2013.

A campinarana é tipo vegetacional limitado a região amazônica. Distribui-se onde houver a associação de solos argilosos e pobres em nutrientes com climas úmidos e quentes com pluviosidade anual superior a 3.000 mm. É uma vegetação arbórea alta e fina que subdivide-se nos tipos florestada, arborizada, arbustiva e gramíneo-lenhosa devido a variações da profundidade do solo, do período de alagamento e do nível do lençol freático (ANA, 2013, p. 200).

4 METODOLOGIA

A vazão observada de 1982 a 1990 utilizada para a calibração do modelo foi obtida junto a Agência Nacional de Águas (ANA) a partir de seis estações fluviométricas distribuídas ao longo do rio Juruá (Tabela 4.1). Cada uma delimita uma sub-bacia. E a área de cada sub-bacia a montante é somada a bacia a jusante. Observa-se que a área da sub-bacia 6 de 162.000 km² é inferior aos 177.300 km² da UPH da Bacia do Juruá principalmente devido a última estação (índice 12840000) não se localizar exatamente na confluência do rio Juruá com o rio Solimões. E é cerca de 0,97% inferior a que foi estimada para esta pesquisa, de 163.589 km².

Tabela 4.1 - Localização dos postos fluviométricos ao longo do rio Juruá.

Sub-bacia	Estação	Latitude	Longitude	Área (km²)
1	12370000	-8.9344	-72.7892	16.581
2	12500000	-7.6331	-72.6617	38.537
3	12520000	-7.0556	-71.6892	55.806
4	12550000	-6.6844	-69.8811	77.136
5	12700000	-6.4403	-68.2461	142.234
6	12840000	-4.8392	-66.8506	162.000

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Utilizou-se o MNT do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e disponibilizado pelo *Consultative Group on International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information* (CGIAR-CSI). Foi usando o MNT na alta resolução, 90 m no Equador (reamostrado para 100 m) e na baixa resolução, 10 km (Figura 4.1).

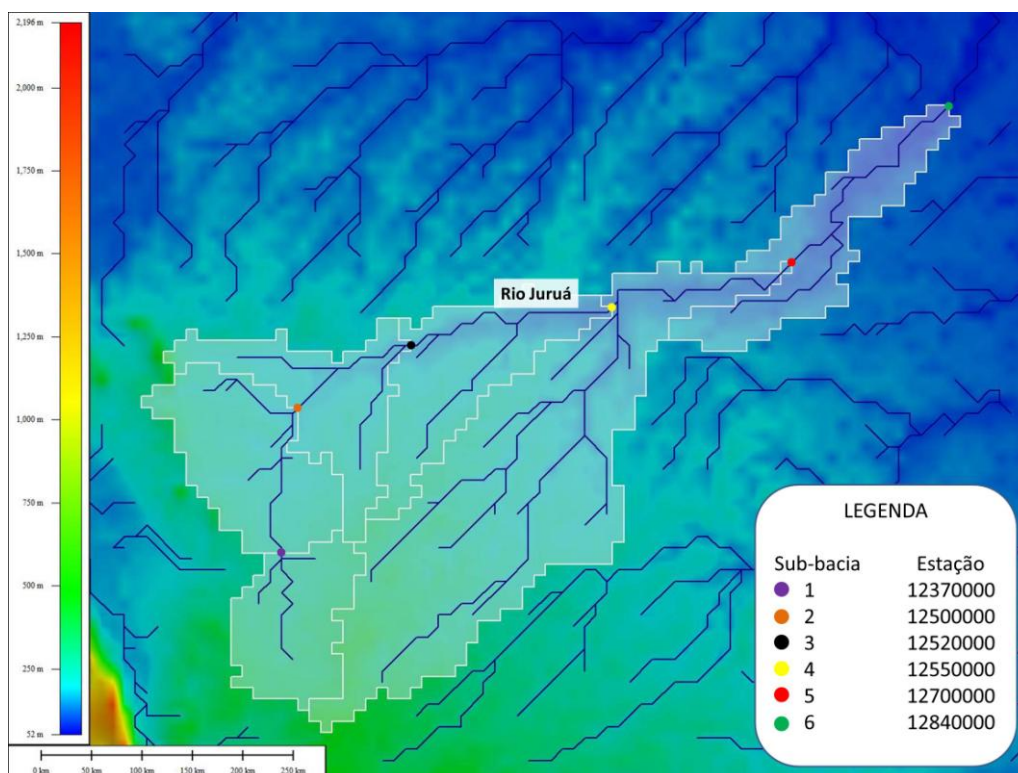


Figura 4.1 – MNT da baixa resolução (10 km) com a localização das subestações.

Fonte: Adaptado de CGIAR-CSI.

Para a classificação do solo utilizou-se as bases de dados com 1 km de resolução da *Soil and Terrain Database for Latin America and Caribbean* (SOTERLAC) disponibilizado pela fundação *ISRIC - World Soil Information*.

Os dados referentes a vegetação foram extraídos do Projeto de Representação da Vegetação nos Modelos Numéricos (PROVEG) do CPTEC-INPE.

Os mapas de uso do solo entre os anos de 1982 a 1990 para a calibração do modelo foram extraídos do banco de dados da Universidade Federal de Viçosa (LEITE, 2008).

O Modelo Hidrológico Distribuído (MHD) é um modelo hidrológico conceitual distribuído que conta com calibração manual e automática compilado em FORTRAN, baseado no Modelo de Grandes Bacias (MGB) desenvolvido por Collischonn (2001). O modelo continua em desenvolvimento no CCST-INPE.

Usou-se as saídas do Modelo Climático Regional Eta-CPTEC/INPE com resolução espacial de 40 km como dado de entrada para o MHD-INPE em quatro cenários de concentração de gases do efeito estufa: o não perturbado padrão definido como o de controle, e os de baixa, média e alta perturbação. Estes cenários são "projeções de mudanças climática para a América do Sul [...] para o cenário de médias emissões (SRES A1B) a partir das condições de fronteiras do modelo global HadCM3 fornecidos pelo *Metoffice Hadley Centre* (MOHC) do Reino Unido" (INPE, 2014, p. 1).

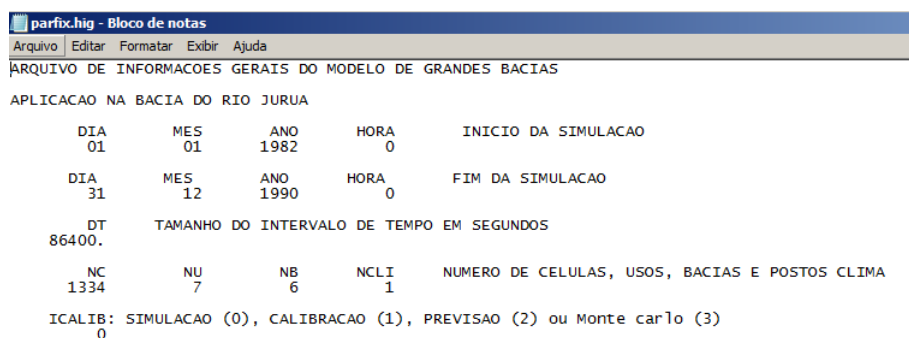
Como resultado, obteve-se a simulação da vazão diária do rio Juruá para os períodos de 2011 a 2040, de 2041 a 2070 e de 2071 a 2099.

5 RESULTADOS

5.1 CALIBRAÇÃO

O desenvolvimento e o trabalho com modelos envolve o manuseio de entradas e a interpretação de saídas. Para o MHD-INPE, um programa FORTRAN, as principais entradas e saídas são arquivos de texto nos formatos "hig" e "prn" e binário (bin). Efetuou-se a calibração do modelo para a bacia do rio Juruá tanto manualmente quanto automaticamente. Quando necessário, a calibração automática foi afinada manualmente.

A partir do MNT da bacia do rio Juruá, na baixa resolução (10 km) identificaram-se 1334 células e seis sub-bacias enumeradas de montante a jusante (Figura 4.1). Os arquivos de entrada partop.hig e cell.hig gerados contêm os parâmetros topográficos para cada célula. A calibração iniciou-se a partir do arquivo de entrada parfix.hig (Figura 5.1), chamado de arquivo de configuração da rodada, e contém informações gerais da bacia estudada como o número de sub-bacias, de células e a data de início e fim da simulação, os mapas de uso do solo, entre outros.



```
parfix.hig - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
ARQUIVO DE INFORMACOES GERAIS DO MODELO DE GRANDES BACIAS
APLICACAO NA BACIA DO RIO JURUA
DIA MES ANO HORA INICIO DA SIMULACAO
01 01 1982 0
DIA MES ANO HORA FIM DA SIMULACAO
31 12 1990 0
DT TAMANHO DO INTERVALO DE TEMPO EM SEGUNDOS
86400.
NC NU NB NCLI NUMERO DE CELULAS, USOS, BACIAS E POSTOS CLIMA
1334 7 6 1
ICALIB: SIMULACAO (0), CALIBRACAO (1), PREVISAO (2) ou Monte Carlo (3)
0
```

Figura 5.1 – Início do arquivo de entrada parfix.hig do MHD-INPE.

Cada simulação permitiu comparar a vazão de saída diária por sub-bacia com a vazão observada da ANA.

No MHD-INPE os tipos de solos diferenciam-se a partir das classes texturais. Variam de argilosos a arenosos mais os solos hísticos ricos em matéria orgânica. Encontram-se no arquivo de entrada parsolo.hig (Figura 5.2). Os tipos, enumerados de 1 a 13, são detalhado por cinco características: condutividade hidráulica saturada (Ksat)

em mm/h; pressão de entrada do ar (psib) em kpa; parâmetro da curva de retenção de umidade do solo (b); umidade volumétrica na saturação (ths) e residual (thr). Nenhum alteração fez-se necessária.

parsolo.hig - Bloco de notas					
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda					
Parametros de solo					
solo	Ksat	psib	b	ths	thr
clay	50.9615	1.0289	2.7455	0.5628	0.2348
sandy clay	95.2519	1.0221	1.7120	0.4501	0.1558
sandy clay loam	69.2979	1.1416	1.7666	0.4092	0.1215
sandy loam	139.7363	0.8665	2.0813	0.4301	0.0710
loamy sand	255.8298	0.6692	1.5487	0.4317	0.0546
sand	329.4636	1.2624	0.7983	0.4014	0.0263
clay loam	44.5245	1.3348	3.4043	0.4976	0.1370
loam	39.4263	2.5964	3.7914	0.4587	0.0349
silty clay	12.2472	3.1894	4.5486	0.5618	0.1579
silty clay loam	50.3273	1.5366	5.0313	0.5889	0.0812
silt loam	60.2748	2.1735	5.5045	0.6288	0.0226
silt	70.0000	3.0000	6.0000	0.7000	0.0100
histosols	302.1113	2.4303	2.0544	0.7261	0.1755

Figura 5.2 –Arquivo de entrada parsolo.hig do MHD-INPE.

Os doze tipos vegetacionais listados no arquivo de entrada parveg.hig de 1 a 12 (Figura 5.3) são: árvores latifoliadas tropicais perenes, árvores latifoliadas tropicais decíduas, florestas mistas com árvores latifoliadas, florestas mistas com árvores aciculadas, árvores aciculadas decíduas, árvores aciculadas perenes, árvores latifoliadas associadas a coberturas arbustivas e herbáceas (savana), gramíneas e herbáceas, arbustos latifoliados com cobertura herbácea perene e com solo exposto, árvores anãs e arbustos com cobertura herbácea (tundra), solo exposto e áreas cultivadas. Os corpos d'água foram classificados como o tipo 13. Para cada tipo e para cada mês foram especificados o albedo; o Índice de Área Foliar (IAF); a cobertura da vegetação (*cover*); a altura da vegetação (*z*), a profundidade radicular (*PR*), o plano de deslocamento zero (*DVEG*) e a rugosidade (*z0*) em metros; a resistência superficial em s/m e a capacidade máxima do dossel (*CM*). Os parâmetros de fator de distribuição das raízes (*FR*) e o valor crítico do fator de ponderação de estresse, ambos aplicados ao modelo de Jarvis, aplicaram-se aos 12 tipos de vegetação. Aumentou-se a profundidade radicular do tip 1 (árvores latifoliadas perenes) de 6 para 9 m a fim de refletir melhor na simulação o comportamento hidrológico da bacia simulada e em acordo com bibliografia própria.

parveg.hig - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Parâmetros de vegetação

Indicadores de estresse do modelo de Jarvis

0.40 ! OMEGAC - VALOR CRITICO DO FATOR DE PONDERACAO DE ESTRESSE

5.0 ! FR - FATOR DE DISTRIBUICAO DE RAIZES

albedo fonte: culf et al. 1996

veg	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	0.127	0.122	0.122	0.120	0.125	0.126	0.131	0.137	0.139	0.135	0.134	0.135
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
7	0.157	0.189	0.197	0.202	0.199	0.203	0.201	0.196	0.178	0.171	0.195	0.196
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

IAF - índice de área foliar

uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	5.950	5.950	5.950	5.950	5.950	7.000	7.150	7.150	7.150	7.150	5.950	5.950
2	5.380	4.880	3.780	1.630	0.650	0.390	0.390	0.390	0.650	1.580	3.380	5.080
3	6.456	6.456	5.756	4.556	3.256	3.256	3.456	3.556	3.956	4.856	5.456	6.156
4	7.870	7.870	7.570	7.370	6.870	6.570	6.570	6.870	7.370	7.570	7.770	8.070
5	4.304	2.904	2.004	1.304	0.804	0.504	0.404	0.404	0.404	0.904	1.604	2.304
6	2.606	5.206	4.556	3.816	2.806	1.866	1.766	1.546	1.416	1.216	1.186	1.416
7	4.304	3.804	1.804	1.104	0.904	0.804	0.704	0.804	0.904	1.004	1.604	2.000
8	0.258	0.808	1.508	1.148	0.748	0.578	0.578	0.578	0.448	0.288	0.258	0.258
9	0.176	0.276	0.476	0.576	0.676	0.876	1.076	0.976	0.776	0.276	0.576	0.176
10	1.738	1.938	1.478	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.508
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.538	0.488	0.378	0.168	0.068	0.048	0.048	0.048	0.068	0.158	0.338	0.508
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 5.3 –Início do arquivo de entrada parveg.hig do MHD-INPE.

A combinação, entre os diferentes tipos de vegetação e de solo, geram 7 blocos de uso resumidos no arquivo blocos.hig (Figura 5.4). As árvores latifoliadas tropicais perenes foram associada aos solos argilosos (*clay*), franco-argilo-arenosos (*sandy clay loam*), franco-argilosos (*clay loam*), argilo-siltosos (*silty clay*) e franco-argilo-siltosos (*silty clay loam*). As árvores latifoliadas associadas a coberturas arbustivas e herbáceas (savana) apenas os solos franco-argilo-arenosos e franco-argilosos.

blocos.hig - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

LISTA DE BLOCOS

SOLO	VEGETACAO
1	1
3	1
3	6
7	1
7	6
9	1
10	1

Figura 5.4 – Arquivo de entrada blocos.hig do MHD-INPE.

Geraram-se os arquivos de entrada com a variação do uso do solo entre os anos de 1981 à 1990 (Figura 5.5) a partir do arquivo blocos.hig. Na primeira coluna encontra-se o índice das células, na quarta a sub-bacia e da quinta a décima-primeira os sete blocos de uso do solo distribuídos percentualmente por célula.

uso_1981.hig - Bloco de notas										
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda						
318	-72.050	-8.450	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
319	-72.250	-8.050	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
320	-72.150	-8.150	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
321	-71.950	-8.150	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
322	-72.450	-8.050	3	0.0	72.2	0.7	27.1	0.0	0.0	0.0
323	-72.250	-8.150	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
324	-72.150	-8.250	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
325	-72.150	-7.750	3	0.0	79.2	0.7	20.1	0.0	0.0	0.0
326	-71.850	-7.850	3	0.0	0.0	0.0	95.8	4.2	0.0	0.0
327	-72.450	-7.650	3	0.0	66.7	22.9	9.0	1.4	0.0	0.0
328	-72.250	-7.650	3	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
329	-72.150	-7.650	3	0.0	99.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
330	-72.050	-7.650	3	0.0	41.0	0.0	59.0	0.0	0.0	0.0
331	-72.150	-7.850	3	0.0	10.4	0.0	89.6	0.0	0.0	0.0
332	-71.950	-7.850	3	0.0	0.0	0.0	97.2	2.8	0.0	0.0
333	-72.450	-7.950	3	0.0	86.1	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0
334	-72.350	-7.850	3	0.0	89.6	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0
335	-71.850	-7.650	3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
336	-72.550	-7.750	3	0.0	47.2	11.8	37.5	3.5	0.0	0.0
337	-72.350	-7.750	3	0.0	57.6	42.4	0.0	0.0	0.0	0.0
338	-72.650	-7.950	3	0.0	27.8	0.0	70.8	1.4	0.0	0.0
339	-72.250	-7.950	3	0.0	12.5	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0
340	-72.350	-7.950	3	0.0	87.5	5.6	6.9	0.0	0.0	0.0
341	-71.950	-7.750	3	0.0	0.0	0.0	93.8	6.2	0.0	0.0

Figura 5.5 - Amostra do arquivo de entrada blocos.hig do MHD com os diferentes usos de solo para o ano de 1981 para as células 318 a 341.

Os arquivos de entrada constantemente ajustados ao longo da calibração do modelo foram o parbacia.hig, o parajuste.hig e o calibra.hig.

São ajustáveis os parâmetros de escoamento que incidem por toda a bacia no arquivo parbacia.hig (Figura 5.6). Manteve-se os valores da Transmissividade Máxima de Referência (TSUB) em 10 m²/dia e o coeficiente de decaimento da transmissividade com a profundidade (MU) e o fator de anisotropia da camada superior do solo (ALPHA) igual a 1 (um). Alteraram-se: o coeficiente do reservatório linear simples do fluxo superficial e subsuperficial (CS) de 100 para 120; os coeficientes para a largura do rio BC1, BC2 e BC3 para 0,6 µm, 2,6 mm e 143,2 m respectivamente; a vazão média específica (QMESP) para 26.27 m²/s foram obtidos dos dados observados da ANA. Ajustaram-se a vazão de base (QB) em m³ e o coeficiente do reservatório linear simples do fluxo de base (CB) em m³/km² por sub-bacia por meio da construção de curvas de permanência da vazão observada. Para as sub-bacias de 1 a 6 os QB calculados foram 40, 60, 86,5, 86,3, 90 e 20,5 m³/s e os CB 0,00229, 0,00302, 0,00402, 0,00504, 0,00513 e 0,00599 m³/km² respectivamente.


```

parbacia.hig - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Parametros de escoamento IN-CELL das Sub-Bacias
10.00 ! TSUB -
1.0 ! MU - CO
1.0 ! ALPHA -
120.0 ! CS - CO
6.0E-9 0.0026 143.2 ! BC1,2,3
26.27 ! QMESP - vaz
Bacia CB QB(M3/KM2
Bacia 1 40.0 0.00229
Bacia 2 60.0 0.00302
Bacia 3 86.5 0.00402
Bacia 4 86.3 0.00504
Bacia 5 90.0 0.00513
Bacia 6 20.5 0.00599

```

Figura 5.6 – Arquivo de entrada parbacia.hig do MHD-INPE.

Os dez fatores de ponderação encontrados no arquivo parajuste.hig (Figura 5.7) multiplicam os parâmetros pedológicos e hidrológicos especificados nos arquivos de entrada usos.hig e parbacia.hig. Incidem sobre a espessura das camadas superficial (D1), subsuperficial (D2) e subterrânea (D3) do solo; a condutividade hidráulica saturada da camada superficial mais a subsuperficial (DKSS) do solo; a transmissividade máxima de referência (DTSUB); o coeficiente de decaimento da transmissividade com a profundidade (DMU); o fator de anisotropia de referência (DALPHA); a capacidade de campo do solo (DCSI); e os coeficientes dos reservatórios lineares simples dos fluxos superficial e subsuperficial (DCS) e de base (DCB). Observa-se como os dois últimos fatores também são ajustáveis por meio do arquivo parbacia.hig.

```

parajuste.hig - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
BACIA D1 D2 D3 DKSS DTSUB DMU DALPHA DCSI DCS DCB
1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
3 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
4 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
5 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
6 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

```

Figura 5.7 - Arquivo de entrada parajuste.hig do MHD-INPE antes da calibração.

Iniciou-se pela calibração automática a partir da bacia mais a montante (Bacia 1) para a mais a jusante (Bacia 6). A vazão diária simulada pelo MHD, para cada simulação e por sub-bacia, são encontradas no arquivo vazao.hig. Para cada simulação é gerado um arquivo contém os índices estatísticos que comparam a vazão observada à simulada e que atestam a precisão do modelo (arquivo estatisticas.dat): nash (ns), relacionado as máximas; nashlog (nslog), relacionado as mínimas; o r^2 , que remete a

forma do hidrograma e o tempo de concentração; e o erro total de volume (errv). Índices aceitáveis de ns e nslog são iguais ou superiores a 0,400, índices de r^2 próximos a 0,8000 e errv de até três décimos positivos. As estatísticas são apresentadas na janela do MHD após cada simulação.

Com todos os fatores de ponderação encontrados no arquivo parajuste.hig mantidos iguais a 1 as estatísticas encontradas após a primeira simulação não foram satisfatórias (Figura 5.8). Apenas as sub-bacias 5 e 6 apresentaram índices ns satisfatórios enquanto apenas a última apresentou índice nslog satisfatório. Nenhum fator de forma (r^2) se aproximou dos oito décimos. O erro de volume (errv) foi positivo apenas para a sub-bacia 4.

```

simulando...
chuva anual na bacia      5      2228.041
bacia   ns      nslog      r2      errv
1      -0.2349  -3.2072  0.0558  -0.5712
2      0.2495   -0.0623  0.3260  -0.1003
3      0.3224   0.0553   0.4220  -0.0844
4      0.1279   0.1719   0.4393  0.1005
5      0.5781   0.3708   0.6072  -0.0458
6      0.5706   0.4465   0.6255  -0.0141

calculando balanço hidrico...

gerando climatologias mensais...

gerando climatologias anuais...

gerando qcalc mensais ...

tempo total  9.9964142E-02 minutos

programa terminou
Press any key to continue . . .

```

Figura 5.8 - Saída do MHD-INPE antes da calibração.

Com a calibração automática e manual, quando necessário, as estatísticas foram satisfatórias (Figura 5.9). Observa-se que a sub-bacia 6 foi calibrada apenas manualmente uma vez que mensagens de erro surgiam quando iniciava-se a calibração automática.

```

c:\ "D:\INPE\mgb-sce-ua_jurua\MHD-INPE\x64\Release\MHD.exe"
simulando...
chuva anual na bacia          5    2228.041
bacia      ns      nslog      r2      errv
1    0.5483  0.6475  0.5773  0.1440
2    0.7612  0.7234  0.8157  0.1776
3    0.8230  0.8181  0.8268  0.0361
4    0.7653  0.7648  0.7769  0.0482
5    0.8538  0.8229  0.8595  0.0521
6    0.7395  0.7604  0.7708  0.0923

calculando balanço hidrico...

gerando climatologias mensais...

gerando climatologias anuais...

gerando qcalc mensais ...

tempo total  0.1000214    minutos

programa terminou
Press any key to continue . . . _

```

Figura 5.9 - Saída para o MHD-INPE após calibração.

Índices satisfatórios de vazões máximas (ns) e vazões mínimas (nslog) foram atingidos para todas as sub-bacias. Fatores de forma (r^2) foram satisfatórios para as sub-bacias 2, 3 e 5 e razoáveis para as sub-bacias 4 e 6. O fator de forma para a sub-bacia 1 foi aquém do esperado mas não comprometeu a simulação por ser a vazia mais a montante e de menor volume. Para todas as sub-bacias, os erros de volume foram positivos e não superaram três décimos.

O arquivo parajuste.hig final com a calibração final pode ser observado na figura 5.10.

BACIA	D1	D2	D3	DKSS	DTSUB	DMU	DALPHA	DCSI	DCS	DCB
1	0.06	0.02	19.96	0.05	0.07	1.05	1.00	0.01	1.01	2.08
2	0.15	0.03	19.99	1.91	0.02	1.01	1.00	1.80	1.01	0.88
3	9.90	14.99	20.00	0.05	0.01	1.00	1.00	0.02	1.76	1.39
4	10.00	15.00	20.00	0.05	0.01	1.00	1.00	0.01	2.50	4.97
5	1.14	0.05	0.01	9.03	21.58	1.03	1.00	0.62	2.89	0.50
6	8.50	5.50	0.75	0.75	0.75	1.25	1.00	1.00	2.00	1.00

Figura 5.10 - Arquivo de entrada parajuste.hig após a calibração do MHD-INPE.

A vazão diária simulada por sub-bacia foi tabulada e apresentada na forma de hidrogramas contendo a vazão média mensal simulada e a vazão média mensal observada para o período de 1982 a 1990 (Figuras 5.11-16).

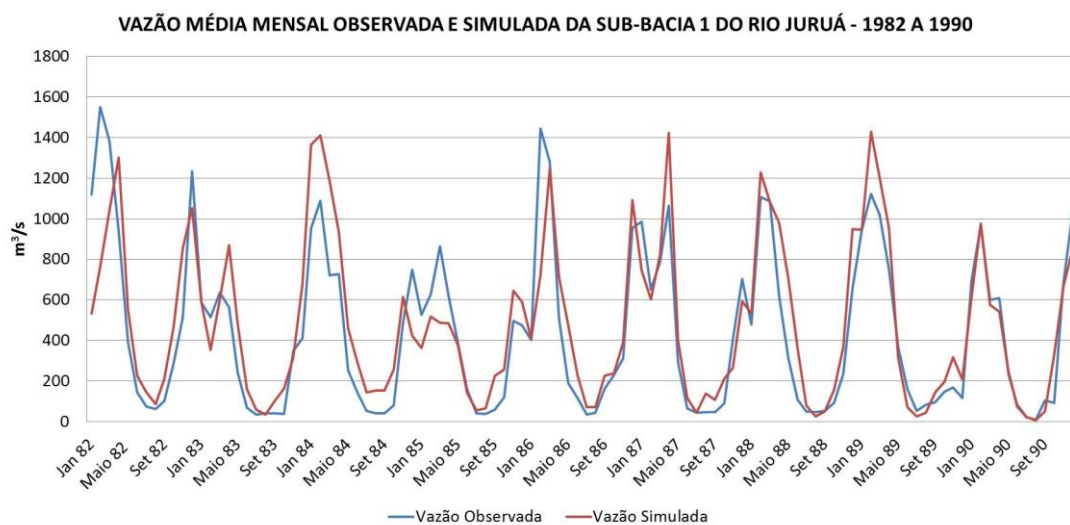


Figura 5.11 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 1.

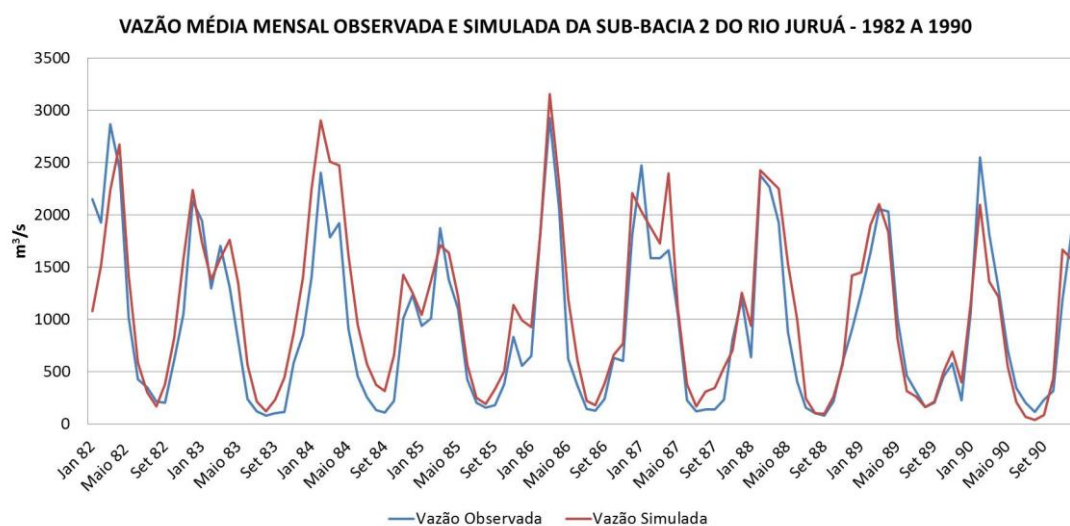


Figura 5.12 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 2.

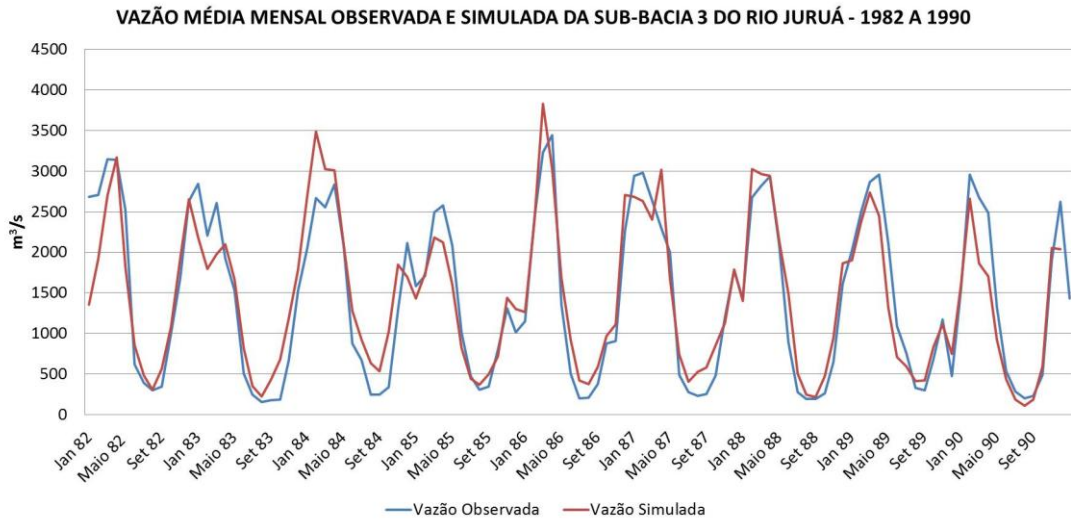


Figura 5.13 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 3.

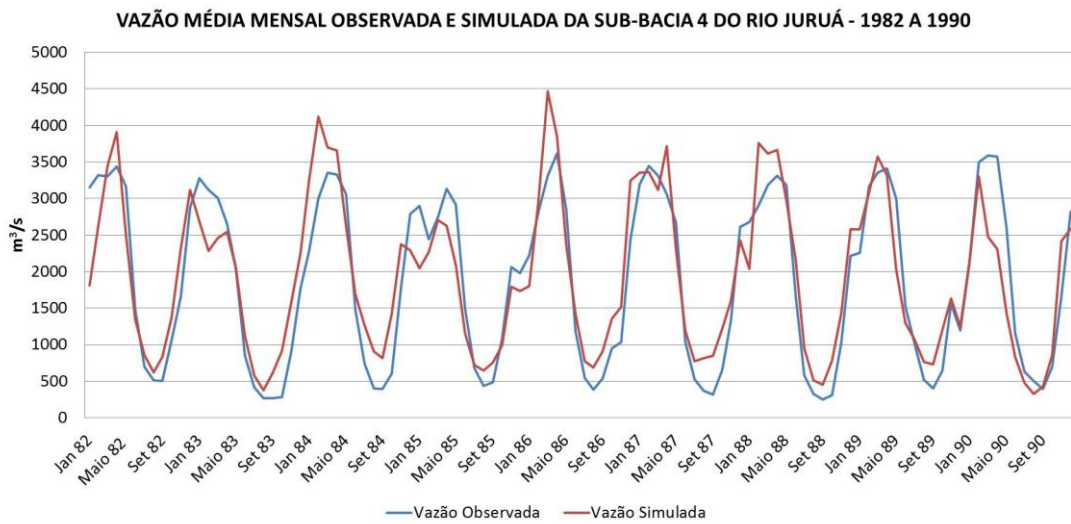


Figura 5.14 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 4.

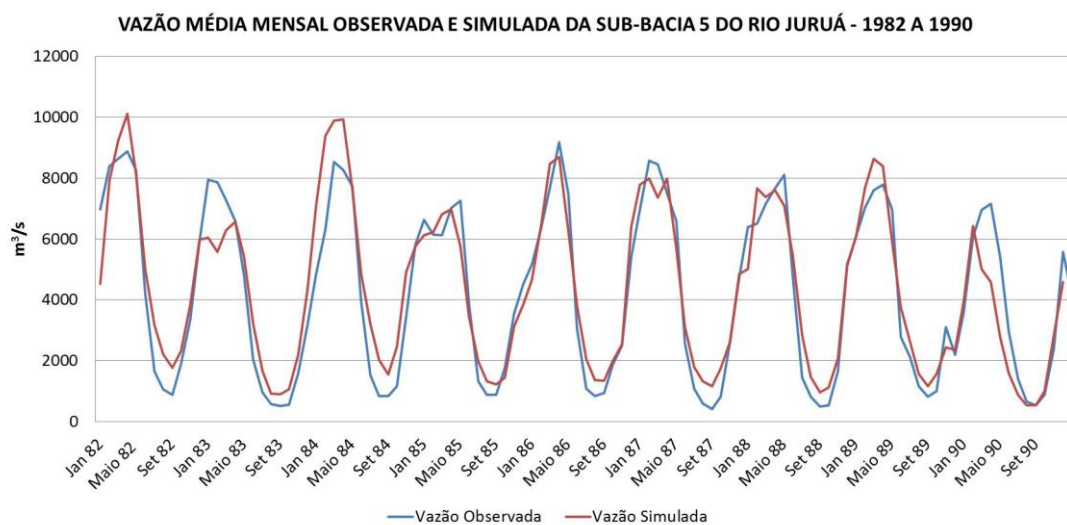


Figura 5.15 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 5.

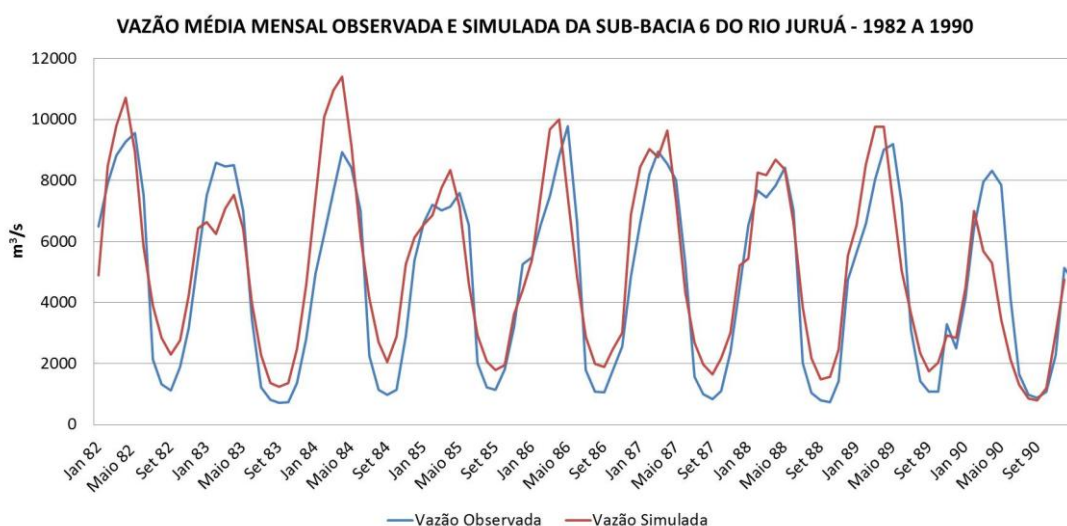


Figura 5.16 - Vazão observada e simulada após a calibração para a sub-bacia 6.

5.2 SIMULAÇÕES PARA OS PERÍODOS FUTUROS

Extraíram-se do Modelo Climático Regional Eta-CPTEC/INPE seis variáveis climáticas: a precipitação (prec) em mm, a temperatura do ar (temp) e a temperatura do ponto de orvalho (tdew) em °C, a velocidade do vento (vv) em m/s, a pressão atmosférica (patm) em mbar e a radiação solar (rad) em W/m^2 para os cenários de concentração de gases do efeito estufa não perturbado padrão (controle) e os de baixa,

média e alta perturbação. Os períodos delimitados foram de 1982 a 1990 para auferir a calibração do modelo e os períodos futuros de interesse de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099. Ressalva-se que o modelo Eta-CPTEC/INPE processa o calendário com 360 dias dividido em 12 meses com 30 dias. A precipitação foi armazenada no arquivo binário prec.bin e as demais variáveis no clima.bin.

Antes de serem usadas como entradas para o MHD-INPE, corrigiram-se os bias de todas as variáveis climáticas (precipitação, a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, a velocidade do vento, a pressão atmosférica e a radiação solar) para todos os períodos e cenários (Figuras 5.17-18).

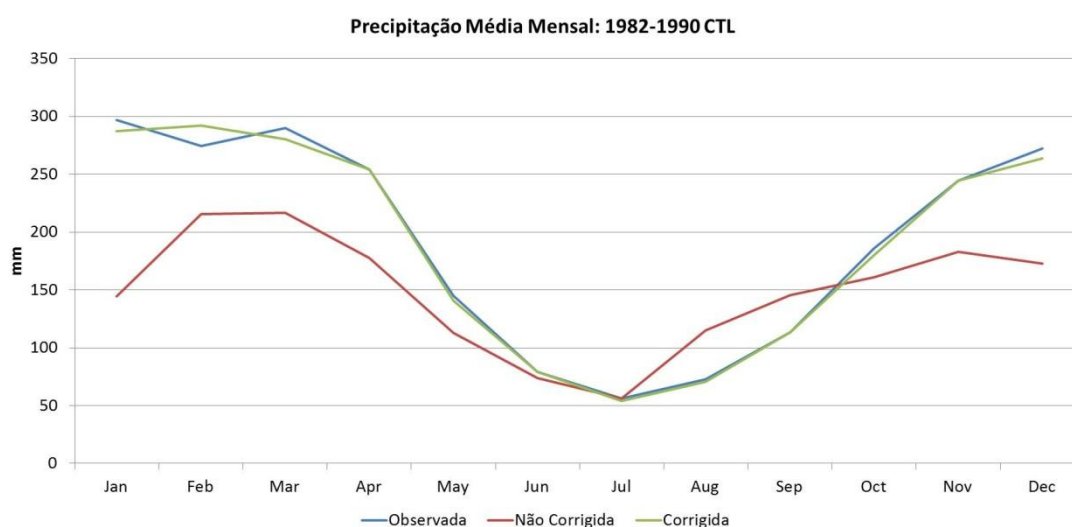


Figura 5.17 - Exemplo de correção de bias da precipitação do Modelo Climático Eta CPTEC/INPE para o cenário de controle.

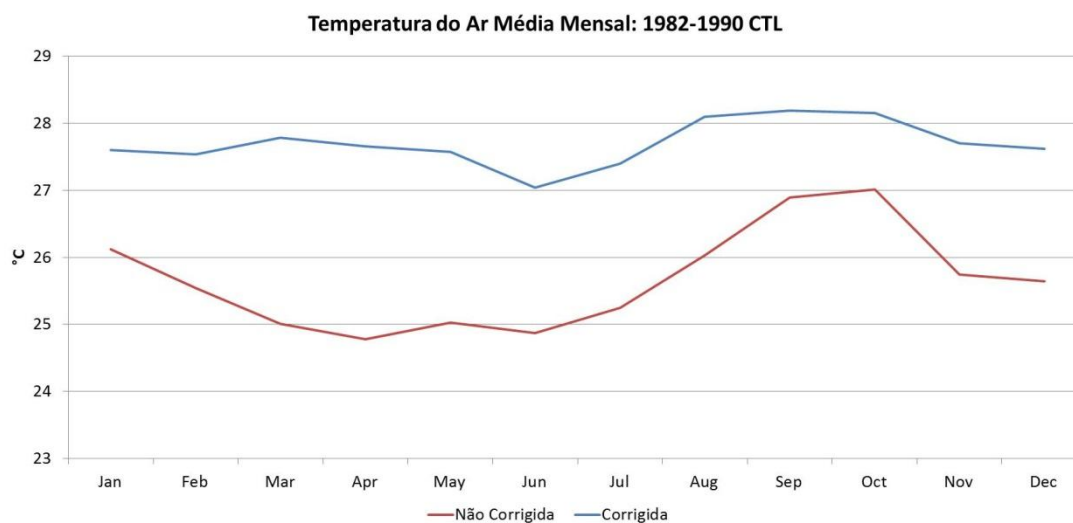


Figura 5.18 - Exemplo de correção da temperatura do Modelo Climático Eta CPTEC/INPE para o cenário de controle.

A precipitação média anual simulada para cada cenário e período futuro situou-se entre 2.140 e 2.275 mm (Tabela 5.1) contra a média de 2.285 mm da precipitação observada para o período de 1982 a 1990. Para o período de 2011 a 2040 a precipitação média simulada entre todos os cenários foi de 2.241 mm, ante 2.198 e 2.196 mm para os dois períodos seguintes. Observando-se todo o período de 2011 a 2099 a maior precipitação média simulada ocorreu para cenário de baixa perturbação com 2.272 mm, ou 0,6% inferior a observada, enquanto a menor para o cenário de alta perturbação com 2.166 mm, ou 5,2% inferior a observada.

Tabela 5.1 - Precipitação média simulada por período e por cenário de concentração de gases do efeito estufa.

	Contr. (mm)	Baixa (mm)	Média (mm)	Alta (mm)	Média (mm)
2011-2040	2.244	2.275	2.257	2.186	2.241
2041-2070	2.193	2.272	2.187	2.140	2.198
2071-2099	2.180	2.269	2.164	2.171	2.196
Média	2.206	2.272	2.203	2.166	

A temperatura do ar média observada para o período de 1982 a 1990 foi de 27,7 °C, inferior as médias simuladas para qualquer cenário e período futuro (Tabela 5.2). O cenário de baixa perturbação apresentou os menores incrementos da temperatura com ganhos de 1,1, 2,2 e 3,2 °C para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a

2099 respectivamente. Observou-se que a temperatura aumentou mesmo para o cenário de controle, aquele sem perturbação na concentração de gases do efeito estufa. O maior incremento, de 5,4 °C, ocorreu no cenário de alta perturbação para o período de 2071 a 2099.

Tabela 5.2 – Temperatura média mensal simulada por período e por cenário de concentração de gases do efeito estufa.

	Temperatura (°C) 2011-2040					Temperatura (°C) 2041-2070					Temperatura (°C) 2071-2099			
	cont.	baixa	méd.	alta		cont.	baixa	méd.	alta		cont.	baixa	méd.	alta
Jan	28,0	28,5	28,8	29,1		29,7	29,4	30,8	30,8		30,7	30,6	32,4	32,5
Fev	28,7	28,1	29,0	29,1		30,1	29,3	30,5	30,6		31,5	30,2	31,8	32,4
Mar	29,1	28,3	29,3	29,5		30,9	29,4	31,1	30,9		32,2	30,4	32,5	32,9
Abr	29,2	28,1	29,5	29,1		31,1	29,8	31,4	31,1		32,4	30,3	32,9	33,1
Mai	29,0	28,6	29,5	29,9		30,7	29,7	31,0	31,9		31,8	30,5	32,3	33,4
Jun	28,5	27,8	29,3	28,9		30,2	29,0	30,8	30,7		31,2	29,9	32,0	32,5
Jul	29,0	28,8	29,4	29,1		30,6	29,7	31,1	30,9		31,6	30,7	32,4	32,7
Ago	30,0	29,5	30,2	30,0		31,4	30,2	31,7	31,7		32,6	31,2	33,3	33,4
Set	30,1	30,0	30,2	29,8		31,4	30,6	31,7	31,6		32,8	31,5	33,3	33,3
Out	30,1	30,1	30,2	30,1		31,5	31,0	32,1	32,2		32,8	32,3	33,7	33,9
Nov	30,0	29,2	30,2	29,9		31,4	30,3	32,1	32,0		32,8	31,8	34,0	34,1
Dez	28,9	28,6	29,3	29,3		30,4	29,7	31,1	31,3		31,7	30,9	32,8	33,4
Média	29,2	28,8	29,6	29,5		30,8	29,9	31,3	31,3		32,0	30,9	32,8	33,1

Após o término da calibração executou-se o MHD-INPE para cada período e cada cenário. A vazão média simulada para o período de 1982 a 1990 e cenário de controle foi de 4.785 m³/s, 1,6% superior a vazão média observada de 4.712 m³/s. A sazonalidade da vazão simulada foi coerente com a observada. O período de máxima vazão manteve-se entre os meses de fevereiro e maio e o de mínima entre os meses de agosto e outubro (Figura 5.19).

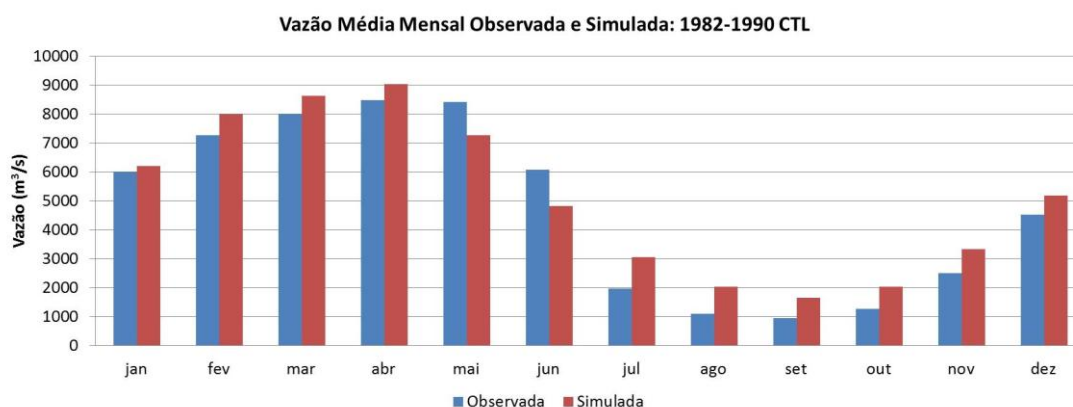


Figura 5.19 - Vazão média mensal observada e simulada para o período de 1982 a 1990 e cenário controle (CTL).

A maior vazão média simulada ocorreu para o período 2011-2040 e cenário de baixa perturbação com $4.675 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 5.3), 7,6% superior à vazão de controle para o mesmo período, de $4.345 \text{ m}^3/\text{s}$. A menor vazão média simulada ocorreu para o período 2071-2099 e cenário de média perturbação com $2.767 \text{ m}^3/\text{s}$, 12,4% inferior a vazão de controle para o mesmo período ($3.160 \text{ m}^3/\text{s}$) e 30,0% inferior a maior vazão para o mesmo período ($3.952 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tabela 5.3 - Vazão média simulada para os três períodos futuros para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.

	Controle (m^3/s)	Baixa (m^3/s)	Média (m^3/s)	Alta (m^3/s)
2011-2040	4.345	4.675	4.247	3.964
2041-2070	3.513	4.317	3.235	3.161
2071-2099	3.160	3.952	2.767	2.927

A vazão simulada para qualquer período e para qualquer cenário foi menor que a vazão média observada para o período de 1982 a 1990, de $4.712 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 5.4). O menor decréscimo coube ao período de 2011 a 2040 no cenário de baixa perturbação com 0,8% e o maior decréscimo coube ao período de 2071 a 2099 no cenário de média perturbação com 41,3%.

Tabela 5.4 - Variação da vazão média simulada em relação a observada (1982 a 1990).

	Controle	Baixa	Média	Alta
2011-2040	-7,8%	-0,8%	-9,9%	-15,9%
2041-2070	-25,4%	-8,4%	-31,4%	-32,9%
2071-2099	-32,9%	-16,1%	-41,3%	-37,9%

A vazão simulada para qualquer período e para qualquer cenário foi menor que a vazão média observada de 4.785 m³/s para o período de 1982 a 1990 (Tabela 5.5). O menor decréscimo foi de 2,3% para o período de 2011 a 2040 e cenário de baixa perturbação e o maior decréscimo foi de 42,2% para o período de 2071 a 2099 e cenário de média perturbação.

Tabela 5.5 - Variação da vazão média simulada em relação a de controle (1982 a 1990).

	Controle	Baixa	Média	Alta
2011-2040	-9,2%	-2,3%	-11,2%	-17,1%
2041-2070	-26,6%	-9,8%	-32,3%	-33,9%
2071-2099	-34,0%	-17,4%	-42,2%	-38,8%

Para todos os cenários a vazão média simulada foi menor no período de 2071 a 2099 quando comparada ao período de 2011 a 2040. O menor decréscimo foi de 15,5% para o cenário de baixa perturbação e o maior de 34,9% para o cenário de média perturbação (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Variação da Vazão média anual simulada entre os períodos de 2011 a 2040 e 2071 a 2099 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.

	2011-2040 (m3/s)	2071-2099 (m3/s)	Variação (%)
Controle	4.345	3.160	-27,3%
Baixa	4.675	3.952	-15,5%
Média	4.247	2.767	-34,9%
Alta	3.964	2.927	-26,1%

A sazonalidade da vazão média mensal para todos os períodos manteve-se coerente (Figuras 5.20-22). As máximas simuladas situaram-se entre fevereiro e maio e as mínimas entre os meses de agosto e outubro.

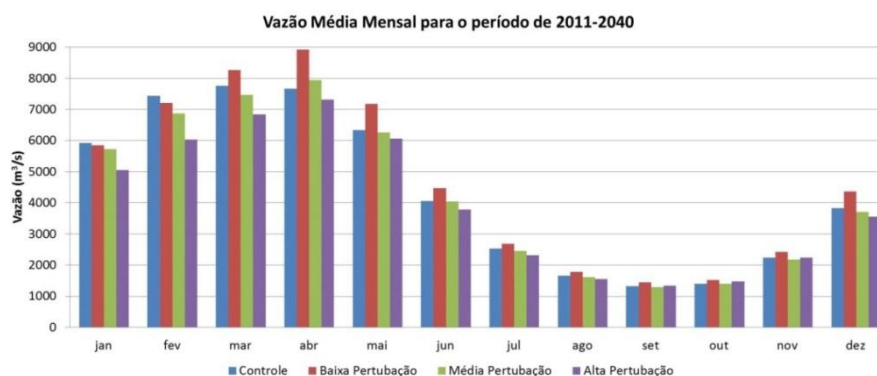


Figura 5.20 - Vazão média mensal simulada para o período de 2011 a 2040 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.

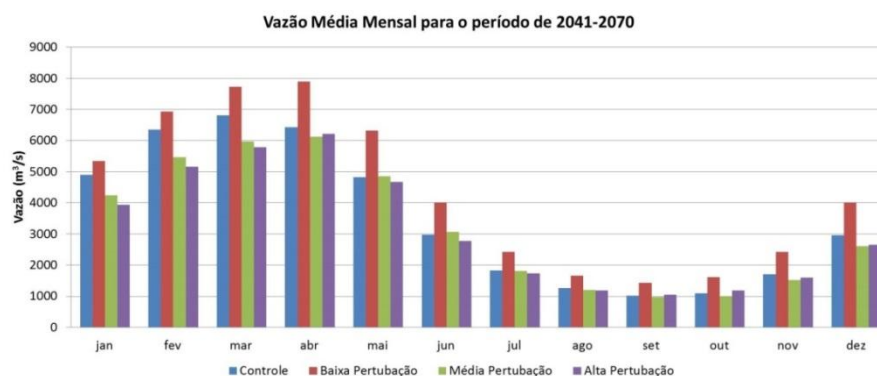


Figura 5.21 - Vazão média mensal simulada para o período de 2041 a 2070 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.

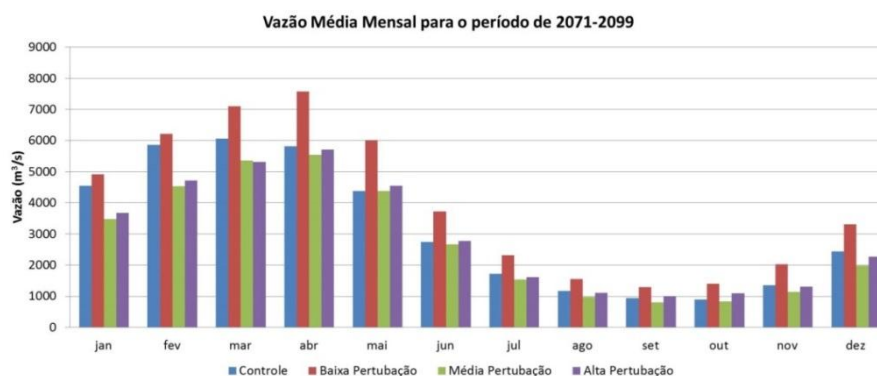


Figura 5.22 - Vazão média mensal simulada para o período de 2071 a 2099 para cada cenário de concentração de gases do efeito estufa.

6 CONCLUSÃO

A calibração do Modelo Hidrológico Distribuído (MHD-INPE) para a bacia do rio Juruá foi satisfatória. Previu-se a vazão do rio Juruá para os períodos futuros a partir dos quatro cenários de concentração de gases do efeito estufa. Entre os principais resultados, destacam-se:

a) a redução média da precipitação simulada para o período de 2011 a 2099 entre todos os cenários foi de 3,2%;

b) a temperatura do ar média simulada aumentou gradativamente entre os períodos de 2011 a 2040 e de 2071 a 2099 para todos os cenários, incrementando no mínimo 3,2 °C para o cenário de baixa perturbação e no máximo 5,4 °C para o cenário de alta perturbação;

c) a vazão média simulada após a calibração do MHD-INPE foi 1,6% superior a observada para o período de 1982 a 1990 e cenário de controle, de 4.712 para 4.785 m³/s;

d) a vazão média simulada para qualquer período e qualquer cenário foi menor que a vazão média observada ou a vazão média simulada para o cenário de controle para o período de 1982 a 1990;

e) a maior vazão média simulada ocorreu no período de 2011 a 2040 e cenário de baixa perturbação com 4.675 m³/s, 2,3% inferior aos 4.785 m³/s da vazão média simulada para o período de 1982 a 1990 e cenário de controle;

f) a menor vazão média simulada ocorreu no período de 2071 a 2099 e cenário de média perturbação com 2.767 m³/s, 42,2% inferior aos 4.785 m³/s da vazão média simulada para o período de 1982 a 1990 e cenário de controle;

g) a sazonalidade da vazão média mensal simulada para todos os períodos manteve-se coerente, com as máximas ocorrendo entre fevereiro e maio e as mínimas entre os meses de agosto e outubro.

Concluiu-se que a vazão do Rio Juruá diminuirá gradualmente para qualquer cenário de concentração de gases do efeito estufa, mesmo para o de controle no qual não há variação. Suspeita-se que a causa principal foi o aumento da temperatura do ar, que levou ao aumento da energia disponível para o processo de evaporação. A contribuição da menor precipitação seria secundária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. Secretaria do Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Rio Branco: SEMA, 2012. Disponível em: <http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/plano_estadual_recursos_hidricos_acre.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Geográfico Digital de Recursos Hídricos do Brasil**. Rios Principais. Disponível em: <<http://www2.snirh.gov.br/home/arquivos/atlasrh2013/4-I.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

_____. **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do Rio Amazonas: diagnóstico**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://margemdireita.ana.gov.br/autentica.asp?id_arquivo=128>. Acesso em: 12 jun. 2014.

_____. **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do Rio Amazonas: resumo executivo**. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=114&fname=REGIAO_HIDROGRAFICA_AMAZONICA.pdf&access=private>. Acesso em: 28 fev. 2014.

CONTI, J. B. FURLAN, S. A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J. L. S. (Org). **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 1996.

MAIDMENT, D. R. Hydrology. In.: MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hidrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2006.

FISCH, G. MARENGO, J. A. NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Edição Especial Comemorativa de 10 Anos. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.html>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**. 2004. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/vegetacao_pdf.zip>. Acessado em: 28 fev. 2014.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências. Número 2. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf>. Acessado em: 28 fev. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST). **Projeções do Modelo Climático Regional Eta-CPTEC do Inpe**: manual do usuário. Disponível em: <http://dadosclima.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/arquivos/MANUAL_DO_USUARIO.pdf>. Acessado em: 3 jul. 2014.

LEITE, C. C. **Reconstrução dos padrões históricos de uso da terra na Amazônia, no período 1940-1995, para estudos climáticos e hidrológicos**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In.: MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

TEIXEIRA, W. G. et al. **Solos**. In: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Geodiversidade do Estado do Amazonas. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Manaus: CPRM, 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_AM.pdf>. Acessado em: 28 fev. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGrawHill, 1979. 245 p. p. 1-107.