

ESTUDO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS NA BACIA DO RIO TAPAJÓS.

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

Stéfano Flávio de Oliveira (Fatec, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: stefano.oliveira@inpe.br

Daniel Andres Rodriguez (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: daniel.andres@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Guilherme Samproгна Mohor (USP)

Julho de 2014

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Stéfano Flávio de Oliveira.**

Local de Trabalho: **CPTEC/INPE.**

Título do projeto: **Estudo dos efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Tapajós.**

Tipo de Bolsa: **Bolsa PIBIC**

Período: **01/08/2013 a 31/07/2014**

ESTUDO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS NA BACIA DO RIO TAPAJÓS.

Stéfano Flávio de Oliveira¹ (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)

Daniel Andrés Rodriguez² (CCST/INPE, Orientador).

RESUMO

As mudanças globais ocorrem provocadas por fenômenos naturais ou por ações dos seres humanos. No intuito de analisar os efeitos dessas mudanças globais na bacia do Rio Tapajós, este trabalho mensura os efeitos das mudanças climáticas e de uso e cobertura da terra na resposta hidrológica da bacia. O Modelo Hidrológico Distribuído do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MHD-INPE), previamente calibrado e validado com os dados observados da Agência Nacional de Águas (ANA), foi utilizado para obter as projeções. O MHD foi alimentado com projeções de mudanças no clima do modelo atmosférico ETA-INPE e também com projeções dos modelos globais utilizados pelo CMIP5: IPSL e HadGEM2. As projeções de mudanças de uso do solo e cobertura vegetal foram obtidas através do projeto LuccME/Amazônia. Os impactos foram avaliados através da comparação das curvas de duração de descargas das diferentes simulações nos períodos futuros 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Essa metodologia permite estudar as alterações em termos de produção hídrica, sazonalidade e eventos extremos entre experimentos que consideram apenas as mudanças climáticas e experimentos que consideram ambas as mudanças, climáticas e de uso do solo. Os resultados obtidos com mudanças climáticas e mudanças climáticas mais uso do solo demonstram um decréscimo nas descargas simuladas na maioria dos modelos em estudos exceto o cenário IPSL que possui um aumento de precipitação na época úmida. Os períodos de cheias não sofreram mudanças na localização de máximos, porém, os mínimos na época seca, em alguns casos, atrasou um mês se comparado às vazões do período histórico. Os resultados das simulações mostram que os efeitos do desflorestamento na bacia podem, em parte, compensar os efeitos das mudanças climáticas nas vazões.

¹ Aluno do Curso de Tecnologia da Informação - **E-mail: oliveira.stefano@gmail.com**

² Centro de Ciência do Sistema Terrestre - **E-mail: daniel.andres@cptec.inpe.br**

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVO.....	2
2.1	OBJETIVOS GERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3.	A BACIA DO RIO TAPAJÓS.....	3
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
4.1	O MODELO HIDROLÓGICO MHD-INPE.....	5
4.2	PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMATICAS.....	6
4.2.1	CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMATICAS REGIONAIS DO MODELO ATMOSFÉRICO ETA.....	6
4.2.2	CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMATICAS DE MODELOS ATMOSFERICO GLOBAL.....	8
4.3	PROJEÇÕES DE MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO.....	9
4.4	DESCRITORES DAS CURVAS DE DURAÇÃO DE DESCARGAS.....	9
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	11
5.1	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLOGICO.....	11
5.2	CENÁRIOS DE USO E COBERTURA DO SOLO.....	14
5.3	CENÁRIOS HIDROLÓGICOS.....	19
5.4	ÍNDICES DESCRITORES DAS CURVAS DE DURAÇÃO DE DESCARGAS.....	20
6.	CONCLUSÕES.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da sub-bacia do rio Tapajós dentro da bacia do rio Amazonas.	4
Figura 2 - Comparação entre os índices de comportamento da bacia com dados observados (abscissa) e dos modelos climáticos (ordenadas). A linha contínua preta indica a igualdade entre os eixos.	13
Figura 3 - Região amazônica, com a porcentagem de floresta secundaria no ano de 2005. 15	
Figura 4 - Região amazônica, com a porcentagem de floresta no ano de 2005.	16
Figura 5 - Região Amazônica, com a porcentagem de agricultura e pastagem por célula no ano de 2005.....	16
Figura 6 - Região amazônica, com a porcentagem coberta por outros usos no ano de 2005.	17
Figura 7 - Porcentagem de cerrado por célula, no retângulo envolvente da bacia do Tapajós, no ano de 2005.....	18
Figura 8 - Porcentagem de água por célula, no retângulo envolvente da bacia do Tapajós, no ano de 2005.....	18
Figura 9 – vazões médias mensais de longo termo dos modelos CTL, IPSL, MED e MIROC para os períodos de 2011 a 2040 e 2071 a 2099.....	20
Figura 10 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2011 a 2040	22
Figura 11 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2041 a 2070	23
Figura 12 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2071 a 2099	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de eficiência da calibração de cada sub-bacia.	12
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMPRABA – Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária.

DHSVM - Distributed Hydrology Soil Vegetation Model.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.

CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Changes.

IPSL - Institute Pierre Simon Laplace.

MGB - Modelo de Grandes Bacias.

MIROC - Model for Interdisciplinary Research on Climate

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica possui um território com cerca de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que aproximadamente 5 milhões estão em território brasileiro e o restante dividido entre os países da Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. Segundo o IBGE, a área da Amazônia Legal no Brasil é de 5032925 km², compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão.

O clima na região da Bacia do Rio Amazonas é equatorial com temperaturas variando entre 22 a 35 graus, dependendo da localização. Pelas suas magnitudes, a bacia é foco de muitas pesquisas, mostrando influência e modificações em seu ecossistema, como o aumento da temperatura global e o aumento da temperatura na superfície causada pelo desmatamento (NOBRE, 2011).

A escala global, a crise da água vem sendo apontada como uma das principais consequências das Mudanças Climáticas (VÖRÖSMARTY, 2002). No Brasil em particular, a vulnerabilidade aos impactos no ciclo hidrológico é aumentada pela dependência da produção energética e de alimentos dos recursos hídricos (MARENGO, 2008). Diversos estudos vêm indicando as prováveis mudanças climáticas até o fim do século para a região amazônica, sendo mais prováveis o aumento da temperatura média do ar, extensão da estação seca e diminuição da precipitação anual sobre a região (MARENGO *et al.*, 2011a; JOETZER *et al.*, 2013).

Mudanças no uso da cobertura do solo modificam a paisagem natural e tem reflexos globais, na maioria das vezes gera consequências negativas para o ecossistema e a biodiversidade, causando impactos climáticos e influenciando alterações no balanço hídrico. No intuito de analisar os efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Tapajós foi aplicado um modelo hidrológico de grande escala na bacia do Rio Tapajós, com o qual foram desenvolvidos cenários hidrológicos futuros considerando cenários futuros de uso e cobertura do solo e projeções de mudanças climáticas.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho de pesquisa tem por objetivo estudar os efeitos das mudanças globais na bacia do Rio Tapajós.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar um modelo hidrológico de grande escala na bacia do Rio Tapajós, para uso em estudos de mudanças da cobertura da terra e cambio climático.
- Desenvolver cenários hidrológicos futuros na bacia do Rio Tapajós considerando cenários futuros de uso e cobertura do solo e projeções de mudanças climáticas provenientes de diferentes modelos atmosféricos.
- Mensurar os efeitos das mudanças climáticas e do uso e cobertura do solo na resposta hidrológica da bacia, assim como as incertezas associadas aos modelos.

3. A BACIA DO RIO TAPAJÓS.

A bacia do Rio Tapajós, uma sub-bacia do Amazonas (Figura 1), está localizada em território brasileiro, entre as coordenadas 14°55'S e 02°10'S de latitude e 60°06'W e 53°50'W de longitude, com uma área de drenagem de aproximadamente 493.000 km². Considerando a totalidade da Bacia Amazônica, a Bacia do Tapajós responde por 12,8% da área total (quase 5% do território nacional) e fornece 10,9% da vazão média do Amazonas.

A cobertura vegetal da bacia do tapajós é composta principalmente de Floresta Amazônica (IBGE, 1992). A região sul da bacia, próximo às nascentes dos rios Juruena e Teles Pires, formador do rio Tapajós, é majoritariamente coberta por Cerrado (MMA, 2006). Quanto aos solos presentes na bacia, os mais importantes são Argissolo vermelho-amarelo (29%), Latossolo vermelho-amarelo (27%) e Neossolo Quartzarênico (18%), conforme obtido por levantamento da EMBRAPA (1980).

Resultados de estudos do Instituto Imazon, de 2005, apresentados em MMA (2006), indicaram grandes áreas sob pressão antrópica, sendo a região Norte da bacia a mais sensibilizada por ações antrópicas nos 35 anos de estudo (de 1971 a 2005). Na região do Tapajós, há grande concentração de áreas sob pressão antrópica já consolidada ou mesmo incipientes principalmente próximas ao rio Teles Pires. Como exemplo, a produção de grãos e a demanda por água de irrigação, indicando um padrão na bacia do Tapajós mais voltado para a agricultura e mostrando potencial de conflitos por uso de água em médio e longo prazo.

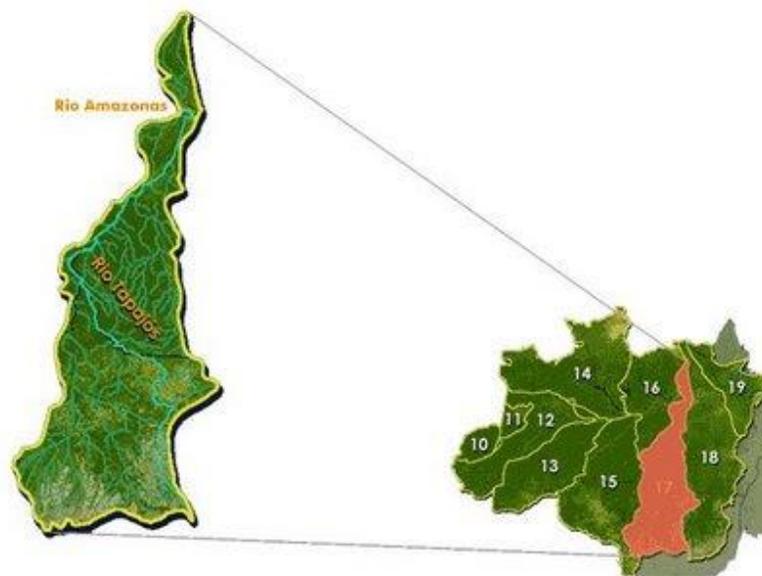


Figura 1 – Localização da sub-bacia do rio Tapajós dentro da bacia do rio Amazonas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 O MODELO HIDROLÓGICO MHD-INPE

A parametrização do MHD-INPE combina a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (ZHAO, 1992; ZHAO; LIU, 1995) com os princípios utilizados no TOPMODEL (BEVEN; KIRKBY, 1979) para simular a resposta hidrológica. A posição do nível freático é calculada no modelo como uma proporção da quantidade d'água em excesso sobre a capacidade de campo em cada reservatório, seguindo a formulação do modelo DHSVM (WIGMOSTA et al, 2002).

A perda d'água por interceptação é simulada através da metodologia proposta por Gash et al. (1995). A captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989). A bacia é subdividida em células regulares, comunicadas por canais de drenagem representando a rede de drenagem da mesma. Cada célula está dividida em blocos de uso do solo, que resultam da combinação da vegetação, do tipo do solo e do uso da terra. O MHD-INPE é alimentado com os dados meteorológicos: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação incidente e precipitação.

A obtenção dos dados e a calibração de parâmetros do modelo para aplicação na bacia foram previamente realizados pela equipe de hidrologia do CCST/INPE (MOHOR et al, 2014). As características geomorfológicas da bacia foram obtidas a partir da informação topográfica do SRTM (ShuttleRadar Topography Mission). Foi adotado o mapa de solos desenvolvido pela EMBRAPA (1980) e a classificação de vegetação de PROVEG (SESTINI, et al, 2002) Os parâmetros fixos do modelo, referentes à cobertura vegetal e aos tipos de solo, foram consultados na literatura (DOYLE et al, 2013, MOHOR et al, 2014).

4.2. PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Foram obtidas as saídas das projeções de modelos climáticos globais incluídos no CMIP 5 (TAYLOR, STOUFFER & MEEHL, 2012), dos cenários RCP4.5, que consiste na estabilização da forçante radiativa em 4,5 W/m² no ano 2100, considerado um cenário de mitigação das emissões mediano (THOMSON *et al.*, 2011). Foi realizado o recorte dos dados no retângulo envolvente da bacia e realizada a correção de erros sistemáticos, com base nas metodologias propostas por Bardossy e Pegram (2011), para a precipitação, e o método *Delta Change Approach*, para as demais variáveis meteorológicas.

Adicionalmente, foram aplicados dados a partir do *downscaling* dos cenários de mudanças climáticas, realizado com o uso do modelo atmosférico regional Eta-CPTEC (CHOU *et al.*, 2011) que correspondem a um cenário de emissões SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) A1B (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

4.2.1 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS REGIONAIS DO MODELO ATMOSFÉRICO ETA

O modelo Eta é utilizado operacionalmente no CPTEC/INPE desde 1997 para o prognóstico de tempo (CHOU, 1996) com base na qual foi desenvolvida uma versão para uso em estudos de mudanças climáticas que requerem integrações de longo prazo (PESQUERO *et al.* 2009; CHOU *et al.* 2012; MARENCO *et al.* 2012). O modelo utiliza a coordenada vertical ETA (MESINGER *et al.*, 1984). As equações dinâmicas são resolvidas através do esquema modificado de Mesinger (1974), os termos de inércia gravidade através de Janjic (1979) e o método de Arakawa é utilizado na diferenciação espacial, permitindo a conservação de entropia e energia (JANJIC 1984; MESINGER 1984; MESINGER *et al.*

1988). Três esquemas de convecção estão disponíveis com opções no modelo: Betts-Miller-Janjic (BETTSANDMILLER 1986; JANJIC 1994), Kain-Fritsch (KAIN 2004) e Kain-Fritsch com fluxo de momentum (BASTOS 2007). A micro física de nuvens é resolvida de acordo com Ferrier et al. (2002) e a transferência radiativa com o esquema GFDL (LACISAND HANSEN 1974; SCHWARZKOPFAND FELS 1991). O modelo utiliza o esquema de Mellor-Yamada 2.5 para a representação das trocas turbulentas na vertical (MELLORAND YAMADA 1982; JANJIC 2002; MESINGER 2010), e a teoria de Monin-Obukhov na simulação das trocas de energia na camada limite superficial (ZILITINKEVICH, 1995; JANJIC, 1994; MESINGER et al. 1996). O modelo de superfície utilizado é o NOAH, originalmente desenvolvido por Pan e Mahrt (1987), e modificado por Chen(1997) e Ek (2003).

4.2.2 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE MODELO ATMOSFÉRICO GLOBAL

Os modelos atmosféricos utilizados nesse trabalho foram escolhidos com base em alguns modelos utilizados pelo CMIP5 (IPCC, 2007) no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Um deles é a nova versão do *Model for Interdisciplinary Research on Climate*, conhecido como MIROC. Desenvolvido pelo Center for Climate System Research (CCSR) da Universidade de Tokyo, o modelo encontra-se na versão 5, que diferente da sua versão anterior, obteve uma atualização das parametrizações do modelo para aumentar a resolução, porém com o mesmo tempo de execução que o MIROC3. Esta versão é baseada no núcleo dinâmico espectral e incluem novas metodologias físicas (NUMAGUTIET al. 1997), mostrando melhorias na precipitação, campos atmosféricos e na simulação do El Niño (WATANABE, 2010).

O IPSL-CM5B, também utilizado neste trabalho, é um *Earth System Model* (ESM) que permite a execução de um conjunto de modelos com diferentes graus de complexidade, vários números de componentes, processos e resoluções diferentes. Foram acrescentadas algumas metodologias desde a sua versão anterior, o IPSL-CM4A, sendo estas: a inclusão dos processos necessários para o estudo da química do clima e interações climáticas biogeoquímica, aumentando a resolução vertical da estratosfera, como cita Dufresne (2011).

Utilizou-se também o CSIRO-Mk3.6.0, atualização do GCM CSIRO-Mk3.5. Com uma melhora na resolução norte-sul reforçada nos oceanos comparada ao anterior, é capaz de simular interações sazonais tropicais e extratropicais (Collier *et al.*, 2011). Na versão utilizada neste trabalho, uma das melhorias foi no regime de radiação, onde houve uma inclusão de um sistema de aerossol interativo (Rotstayn *et al.*, 2010), permitindo o estudo de impactos de um número de agentes aerossóis no clima global.

4.3 PROJEÇÕES DE MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO

Como projeções de uso do solo, foram usados os mapas desenvolvidos pelo projeto LuccME/BRAmazonia (Aguilar, 2006) que contém porcentagens de uso do solo e cobertura vegetal, extraídos através das ferramentas ArcGIS e Idrisi, com a finalidade de se obter os dados em formato assimilável pelo MHD-INPE.

As projeções de uso e cobertura do solo de LuccME/BRAmazonia se restringem à Amazônia brasileira, de acordo com o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), utilizando uma resolução de 25x25km². Nele são apresentadas as classes floresta pristina, agricultura, pastagem, floresta secundária e outros usos (que contemplam cerrado, água e nuvens).

No projeto LuccME/BRAmazonia existem três cenários:

- Cenário A: Sustentável;
- Cenário B: Meio do caminho;
- Cenário C: Padrão de ocupação histórica.

Para este estudo foi escolhido o cenário B, em virtude de ele ser o intermediário entre os outros cenários.

4.4 DESCRITORES DAS CURVAS DE DURAÇÃO DE DESCARGAS

As curvas de duração de descargas fornecem uma informação compacta da variabilidade do escoamento e permitem uma análise da transformação chuva-vazão na bacia de uma forma holística (CASTELLARIN *et al.*, 2013), e podem ser utilizados para caracterizar bacias regionalmente (LEY *et al.*, 2011) e identificar mudanças como resultado das mudanças ambientais globais (PEÑA-ARANCIBIA *et al.*, 2012; Rodriguez *et al.*, 2010, Siqueira Junior *et al.*, 2013). Os índices calculados foram Seasonality que representa a diferença entre a época úmida e seca, QSM representa a inclinação da FDC(

flow duration curve) no intervalo médio, e esta associado com a rapidez de resposta da bacia e a distribuição da umidade. O MWL representa as descargas mínimas. O MWH representa as descargas máximas. Portanto, fez-se comparação das curvas de distribuição de frequência de vazões resultantes da simulação com dados observados e com dados dos modelos climáticos, validando a utilização dos modelos climáticos sobre a bacia, com suporte dos índices mostrados a seguir, propostos por Ley et al. (2011) (Equações 1 até 4).

$$Seasonality = \frac{\text{média estação chuvosa} - \text{média estação seca}}{\text{média geral}} \quad (1)$$

$$QSM = \frac{0.8 \text{ quantile} - 0.2 \text{ quantile}}{\text{média}} \quad (2)$$

$$MWH = \frac{\sum_1^H Qh}{H} \quad (3)$$

1 a H, vazões com probabilidade de excedência < 2%.

$$MWL = \frac{\sum_1^L Ql}{L} \quad (4)$$

1 a L, vazões com probabilidade de excedência entre 70 e 95%

5. RESULTADOS E DISCUSSOES

5.1. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

Segundo Mohor (2013) A calibração do MHD-INPE foi realizada utilizando o método de calibração automática SCE-UA proposto por Duan *et al.* (1992, 1994). Como indicadores de eficiência da calibração, foram utilizados os índices: eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS), eficiência de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões (ENSLog) (Krause, Boyle and Bäse, 2005), além do erro relativo de volume (ΔV), utilizado juntamente com a inspeção visual dos hidrogramas na verificação dos resultados. Estes índices são calculados a partir das vazões simulada e observada, em valores diários. foi alcançada uma boa performance na aplicação do MHD-INPE na bacia do Tapajós com a simulação de dados de vazão histórica no período de 1970 a 1990, avaliados por ENS e ENSLog atingindo valores de 0,66 até 0,92, e erro volumétrico relativo não superior a 15%, exceto pequeno valor em única bacia (Tabela 2). A sub-bacia 15, exutório da bacia modelada onde situa a UHE São Luiz do Tapajós, não possui dados históricos, somente vazão naturalizada usada no projeto da usina, não sendo viável sua calibração apropriada.

Sub-bacia	ENS	ENSLog	ΔV (%)
1	0,7971	0,8029	-02,84
2	0,6935	0,7000	06,19
3	0,6666	0,6901	09,39
4	0,8394	0,8305	-01,15
5	0,7091	0,8401	15,84
6	0,6329	0,6964	02,70
7	0,7894	0,7630	-01,29
8	0,8256	0,8899	04,63
9	0,8367	0,8787	02,26
10	0,8434	0,8689	08,95
11	0,8372	0,8486	11,31
12	0,9006	0,8104	14,63
13	0,9039	0,9037	04,68
14	0,8970	0,9259	-06,98

Tabela 1 - Indicadores de eficiência da calibração de cada sub-bacia.

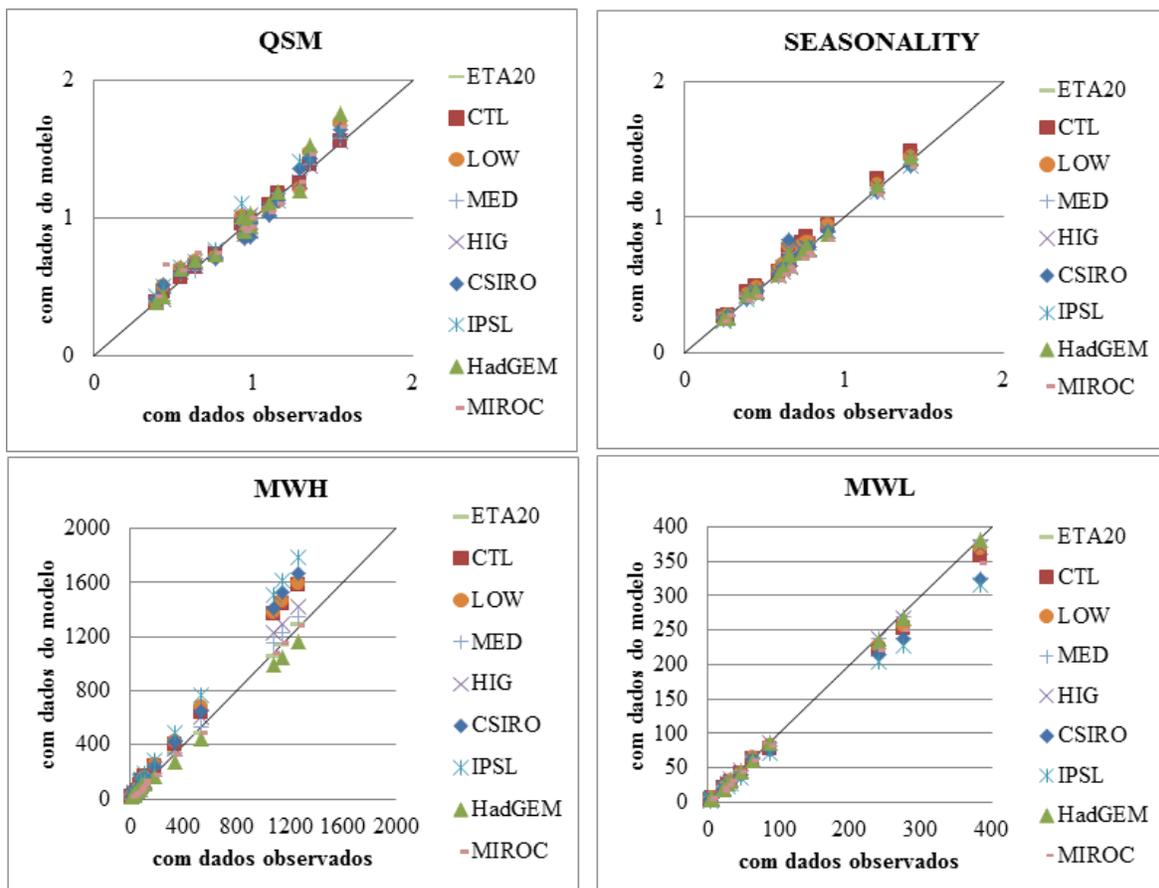


Figura 2 - Comparação entre os índices de comportamento da bacia com dados observados (abscissa) e dos modelos climáticos (ordenadas). A linha contínua preta indica a igualdade entre os eixos.

A figura 2 mostra a correlação entre descritores de curva de vazão das simulações com dados observados e dados obtidos pelas simulações com modelos climáticos, de todas as sub-bacias. Os índices relacionados ao balanço de água, distribuição de umidade na bacia e resposta hidrológica, a sazonalidade e pequenas descargas mostram erros aceitáveis. Por outro lado, há considerável diferença no comportamento na faixa de maiores descargas por parte dos diferentes modelos climáticos.

A comparação da sazonalidade e QSM das FDCs (curva de distribuição de frequência) são bastante similares para qualquer sub-bacia. Analisando o MWH e MWL,

embora sejam notáveis diferenças absolutas maiores em áreas de drenagem maiores, esta relação não existe quando analisados os valores relativos.

Nota-se uma tendência de resultados para cada modelo climático, reforçando que IPSL e CSIRO apresentaram as maiores diferenças em MHW (positivamente) e MWL (negativamente). O membro MED atingiu os melhores resultados em geral, dando igual peso a cada sub-bacia.

5.2 CENÁRIOS DE USO E COBERTURA DO SOLO

As **Erro! Fonte de referência não encontrada.**s 3 até 8 são o produto da extração das informações do LuccME/BRAmazonia para o ano de 2005. Para sua aplicação na modelagem hidrológica.

Os mapas demonstram a porcentagem do tipo de solo de cada tipo de vegetação, como se pode ver a Figura 3 apresenta uma maior concentração de Floresta secundária na região leste, A Figura 4 demonstra uma distribuição mais equilibrado de floresta por todo território amazônico.

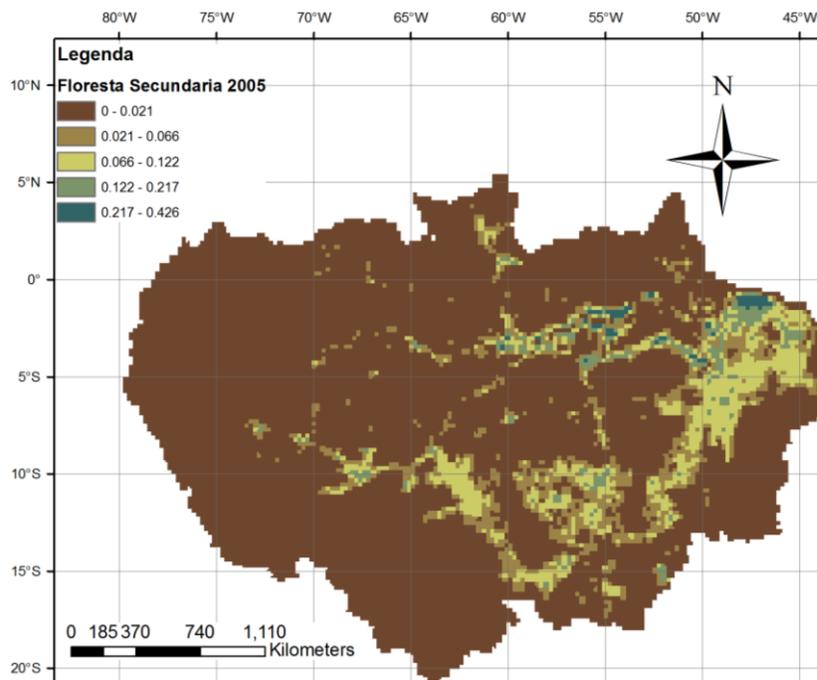


Figura 3 - Região amazônica, com a porcentagem de floresta secundaria no ano de 2005.

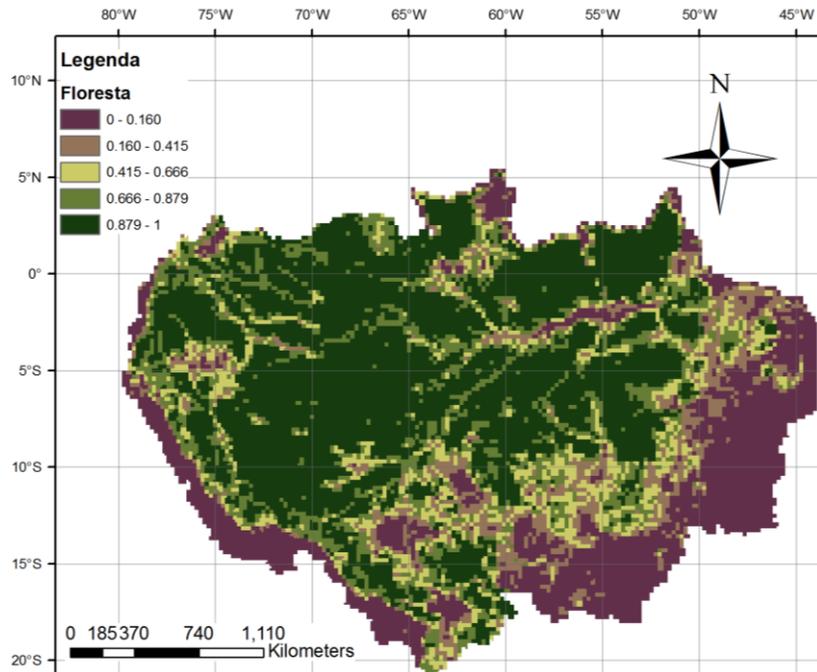


Figura 4 - Região amazônica, com a porcentagem de floresta no ano de 2005.

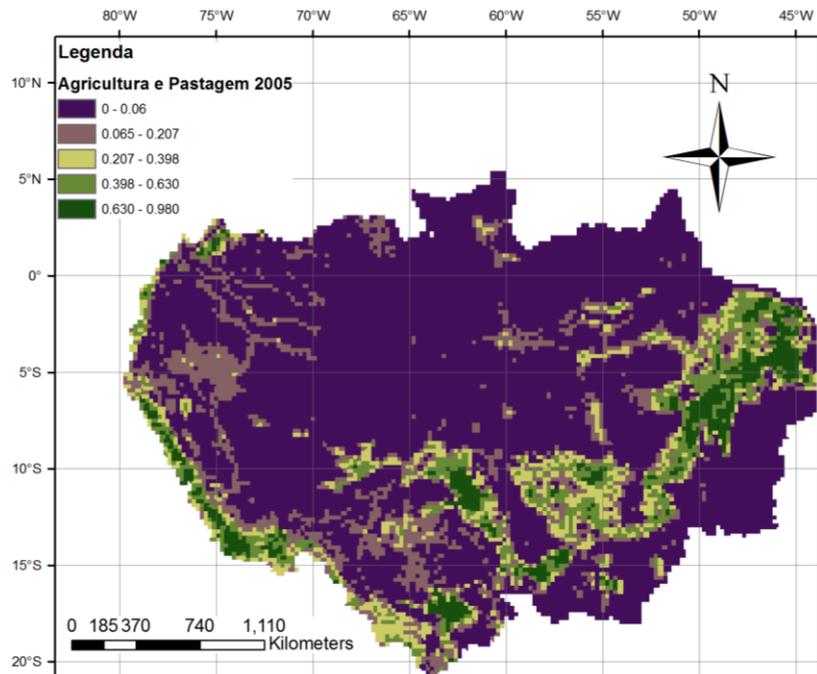


Figura 5 - Região Amazônica, com a porcentagem de agricultura e pastagem por célula no ano de 2005.

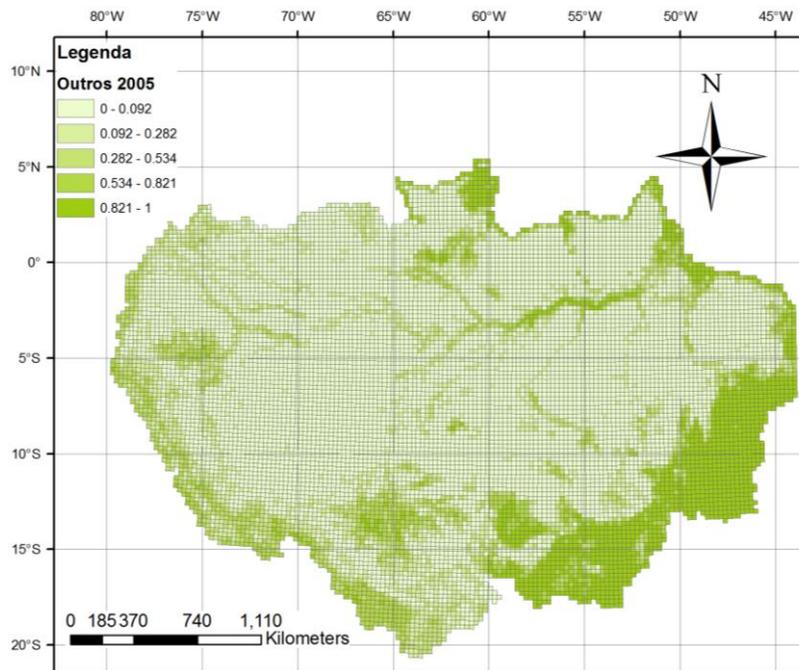


Figura 6 - Região amazônica, com a porcentagem coberta por outros usos no ano de 2005.

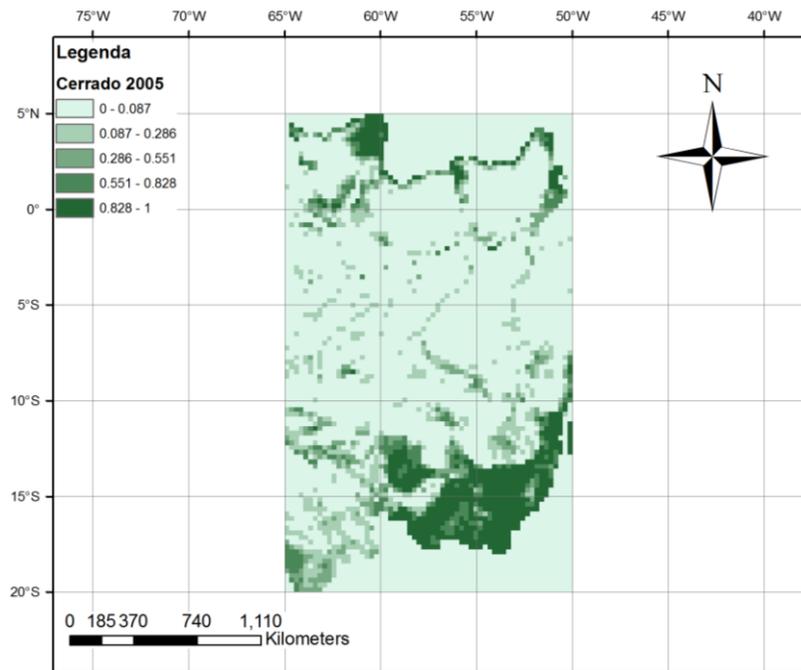


Figura 7 - Porcentagem de cerrado por célula, no retângulo envolvente da bacia do Tapajós, no ano de 2005.

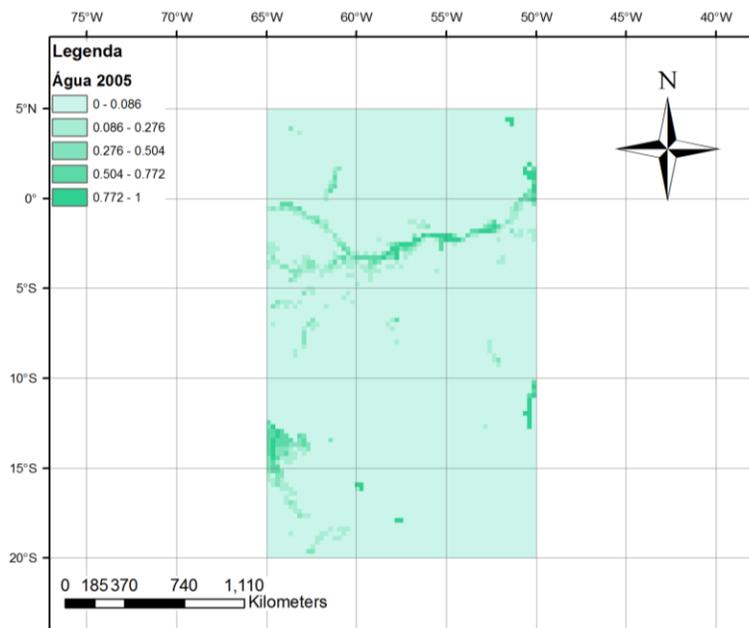


Figura 8 - Porcentagem de água por célula, no retângulo envolvente da bacia do Tapajós, no ano de 2005.

5.3 CENÁRIOS HIDROLÓGICOS

Para análise de resultados, foram escolhidos apenas os modelos que representam o extremo do CMIP5 e ETA. Os resultados obtidos com mudanças climáticas e mudanças climáticas mais uso do solo demonstram um decréscimo nas descargas simuladas na maioria dos modelos em estudos, exceto o cenário IPSL que possui um aumento de precipitação na época úmida. Os períodos de cheias não sofreram mudanças na localização de máximos, porém, os mínimos na época seca, em alguns casos, atrasou um mês se comparado às vazões do período histórico. Os resultados das simulações mostram que os efeitos do desflorestamento na bacia podem, em parte, compensar os efeitos das mudanças climáticas nas vazões, os modelos ETA CTL e MED possui uma maior dispersão nos resultados comparado com o CMIP5, como pode ser observado na figura 9.

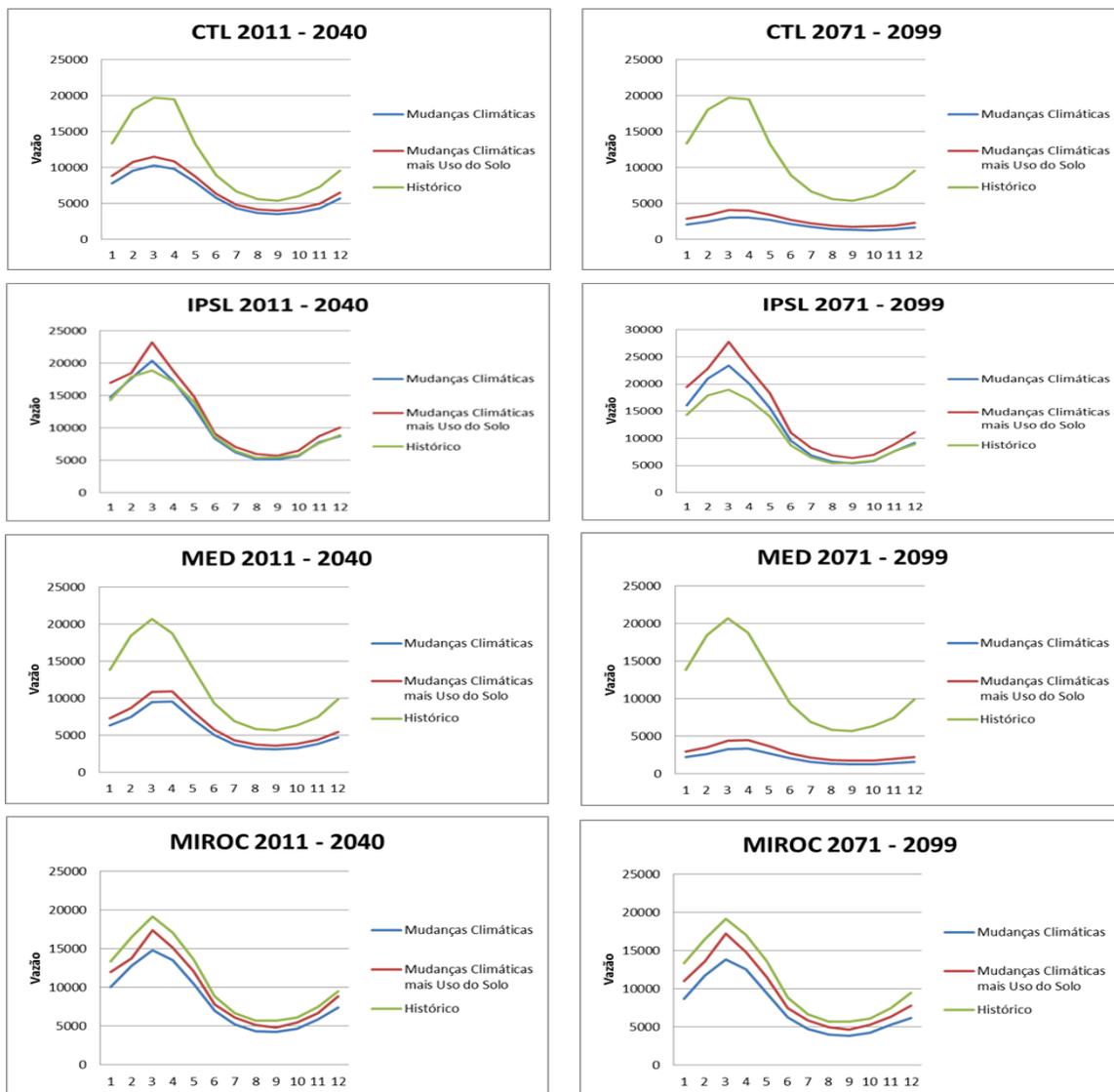


Figura 9 – vazões médias mensais de longo termo dos modelos CTL, IPSL, MED e MIROC para os períodos de 2011 a 2040 e 2071 a 2099.

5.4 ÍNDICES DESCRITORES DAS CURVAS DE DURAÇÃO DE DESCARGAS

As figuras 9, 10 e 11 mostram os impactos nas vazões das bacias Santa Rosa e Fortaleza, os resultados são comparados com o período de 1970 a 1990. Em geral os

resultados apresentam uma grande dispersão entre modelos. A maior concordância nos resultados é apresentada pelo índice MWH, associado com as menores vazões. Neste caso, as maiorias dos modelos apresentam uma diminuição enquanto apenas o IPSL apresenta incremento. A variação do índice QSM apresenta uma grande variação entre os diferentes modelos. A maioria dos resultados mostra uma diminuição do índice, principalmente no ultimo período de 2070 a 2099, o que implica uma regulação da resposta da bacia. O índice associado a máximas descargas também apresentam uma diminuição no ultimo período, apesar da grande variação entre integrações. A amplitude da sazonalidade apresenta em geral uma diminuição nos três períodos.

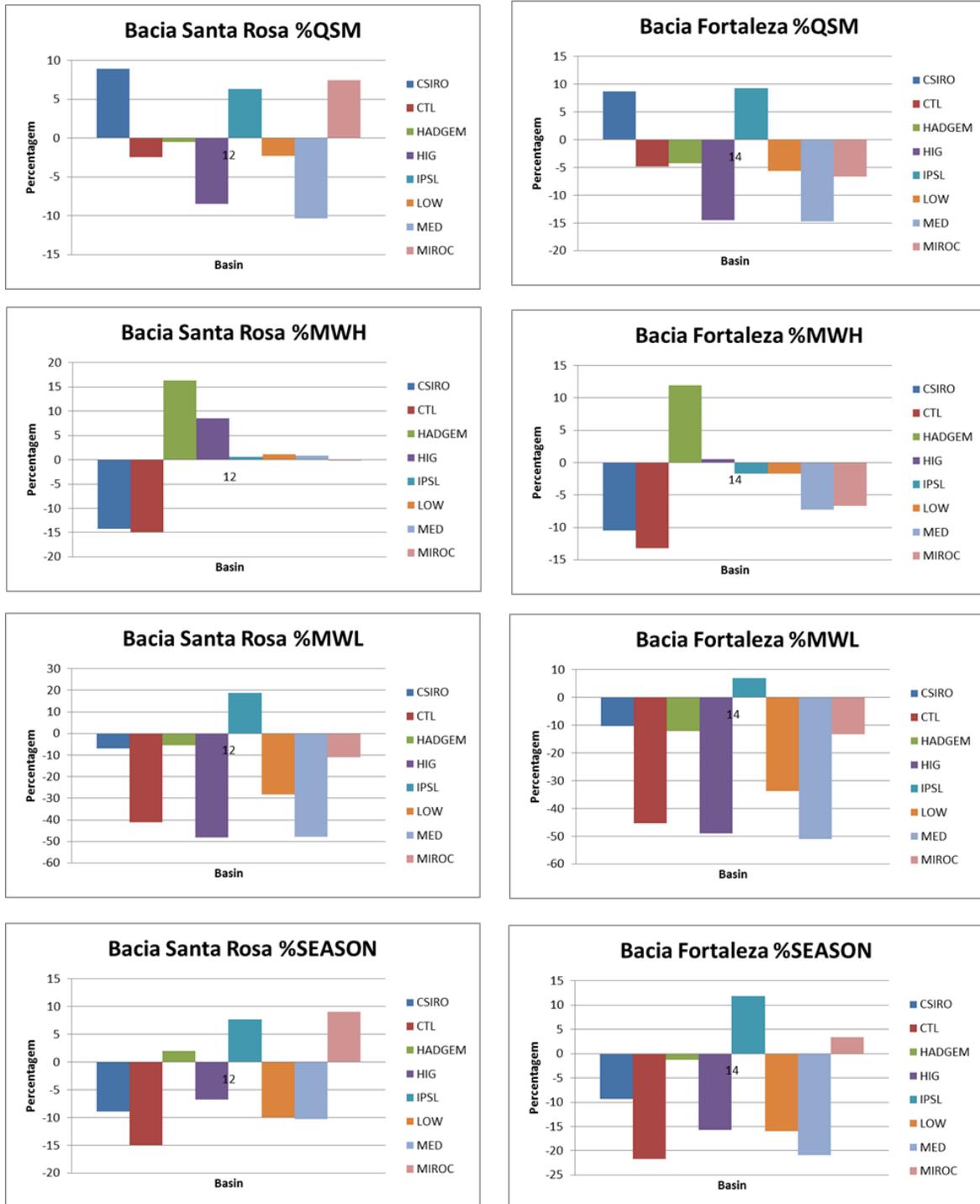


Figura 10 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2011 a 2040

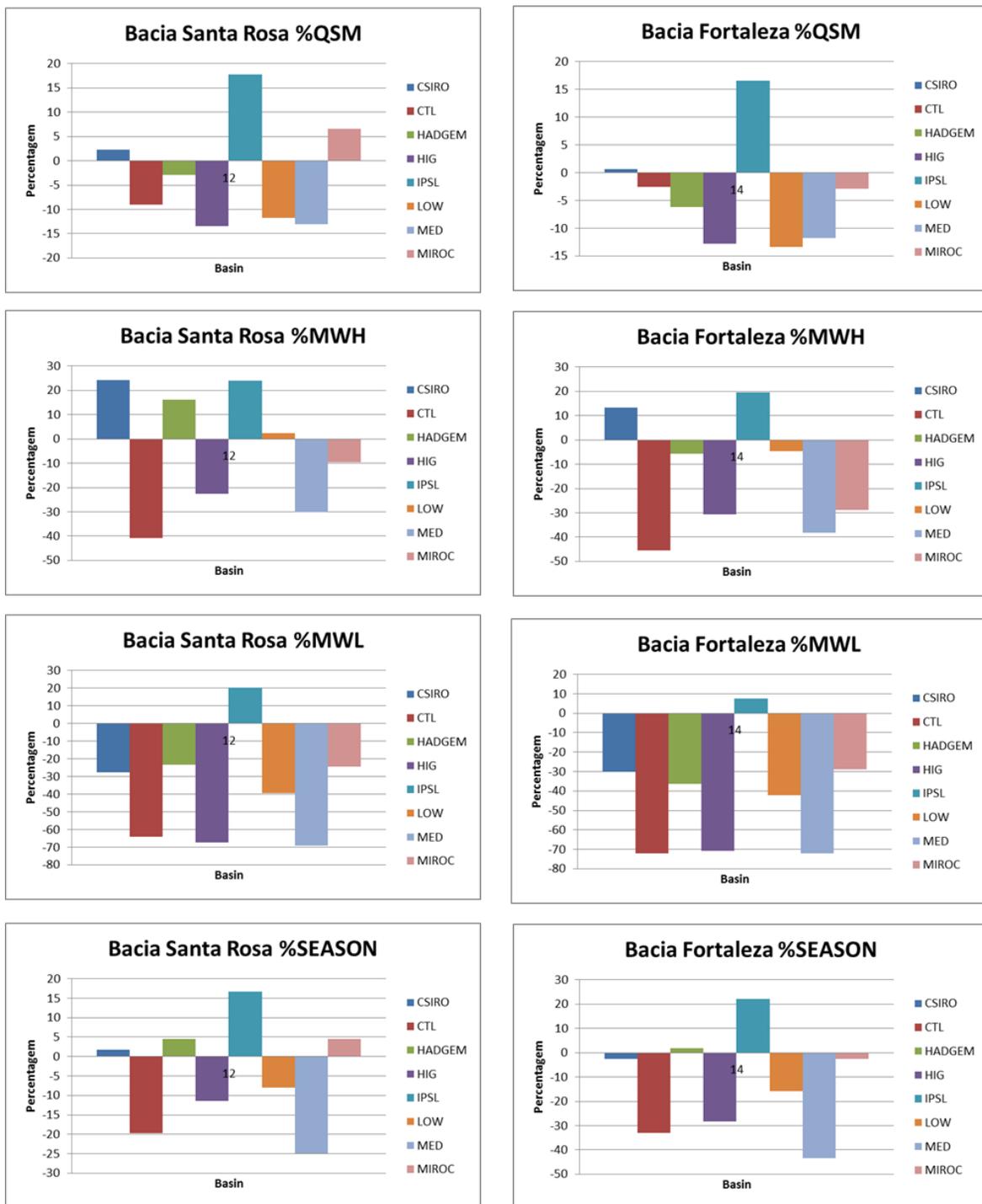


Figura 11 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2041 a 2070

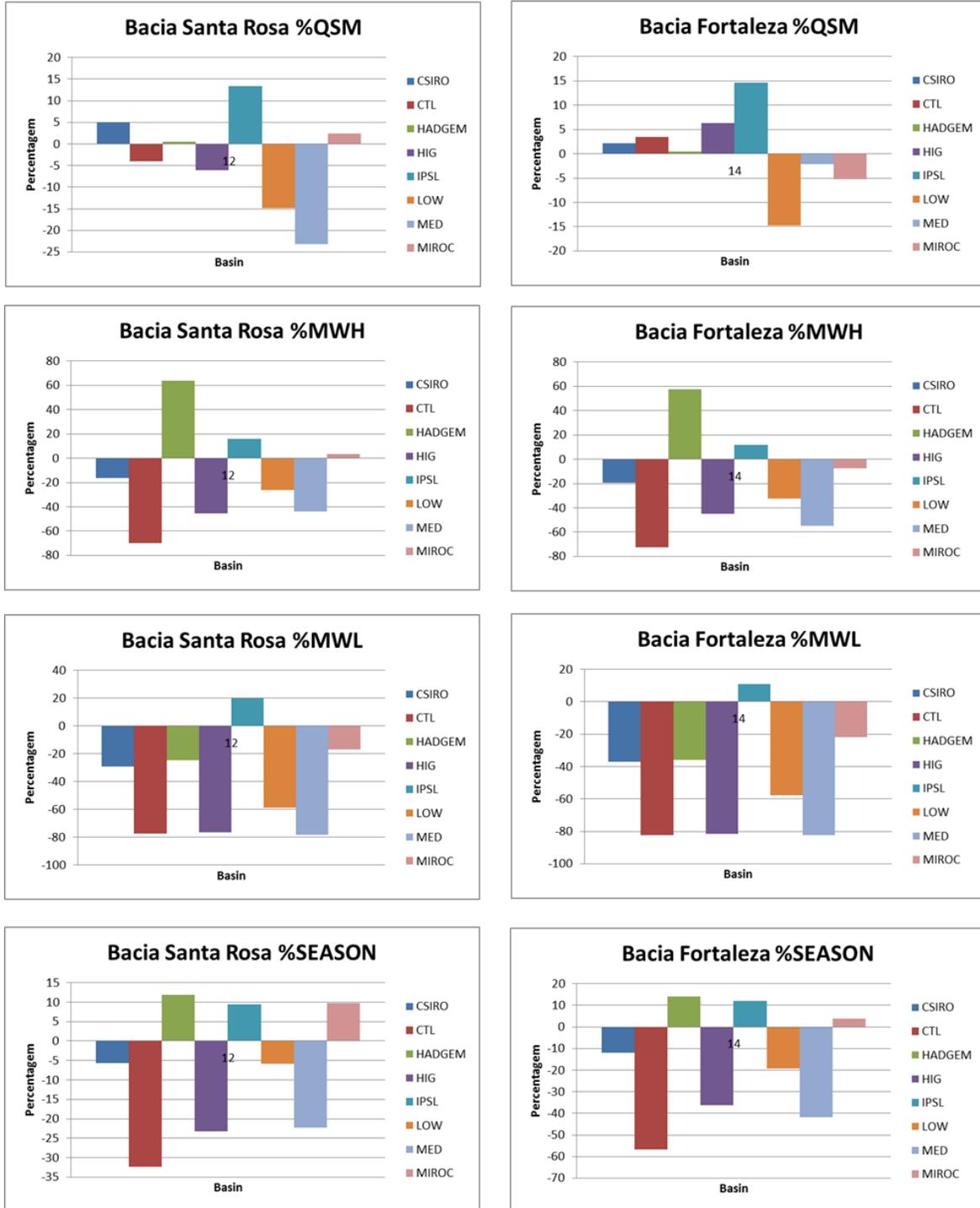


Figura 12 Impactos das mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo no período de 2071 a 2099

6.CONCLUSÕES

As projeções hidrológicas mostram uma grande dispersão associada com os modelos climáticos, tanto em magnitude quanto em sentido das mudanças. Enquanto que algumas projeções resultam em decremento das vazões, em outros casos é apresentado um incremento. Por outro lado, o desflorestamento na bacia resulta num incremento de vazões, o que minimiza a redução nas vazões pelas mudanças climáticas nas projeções mais extremas.

Apesar do pequeno número de projeções climáticas utilizadas no estudo, elas apresentam uma grande variação de possíveis cenários hidrológicos. Não obstante, a incorporação de um maior número de projeções é necessária para o desenvolvimento de análises exploratórios dos resultados.

Referências Bibliográficas:

- Aguiar, A. P. D. **Modeling land use change in the Brazilian Amazon: exploring the intra-regional heterogeneity**. PhD Thesis, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil, pp. 204, 2006.
- CHEN, F.; DUDHIA, J. Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. **Mon. Wea. Rev.**, 129, 569–585, 2001.
- Chou, S.C., Marengo, J.A., Lyra, A.A., Sueiro, G., Pesquero, J.F., Lincoln, M.A., Kay, G., Betts, R., Chagas, D.J., Gomes, J.L., Bustamante, J.F., Tavares, O. Downsaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Clim Dyn** DOI: 10.1007/s00382-011-1002-8, 2011.
- COLLINS, W. J. et al. **Evaluation of the HadGEM2 model., HCTN 74**, Met Office Hadley Centre Technical Note, Met Office, UK. 2008.
- CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The Albedo of Amazonian Forest and Ranch Land. **Journal of Climate**. v. 8, e. 6, 1544-1554, 1995.
- DOYLE, M.E. ; TOMASELLA, J. ; RODRIGUEZ, D.A. ; CHAN, C. S. Experiments using new initial soil moisture conditions and soil map in the Eta model over La Plata Basin. **Meteorology and Atmospheric Physics** (Print), v. 121, p. 119-136, 2013.
- DUFRESNE, J.L. et al. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. **Clim Dyn**, 40:2123–2165, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Estudo expedito de solos do Território Federal de Rondônia para fins de classificação, correlação e legenda preliminar.** Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - EMBRAPA, 145pp. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico n. 73), 2013.

GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate.** Wiley, Chichester, UK, 1996.

INPE. **Resultado consolidado do PRODES mostra redução de 29% no desmatamento na Amazônia em 2012.** 2013. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3301>. Acesso em: 23 jan. 2014.

MOHOR, G. S.; RODRIGUEZ, D.A.; SIQUEIRA JUNIOR, J. L.; TOMASELLA, J. (em preparação). **Hydrological impacts study by climate change in Tapajós basin.**

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRUBLER, A.; JUNG, T.Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E.L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H.-H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. (2000), **IPCC Special Report on Emissions Scenarios.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 599.

Rodriguez, D. A. **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de Floresta Amazônica.** 2011. 244 p. (sid.inpe.br/mctm18/ 2011/02.23.18.55-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/398C778>>. Acesso em: 29 jun. 2012.

- ROTSTAYN, L.D.; COLLIER, M.A.; DIX, M.R.; FENG, Y.; GORDON, H.B.; O'FARRELL, S.P.; SMITH, I.N.; SYKTUS, J.I. (2010), Improved Simulation of Australian Climate and ENSO-related rainfall variability in a global climate model with interactive aerosol treatment. **Int. J. Climatol.** 30: 1067-1088, doi:10.1002/joc.1952.
- SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: MAIDMENT, D. R. (Ed.), **Handbook of hydrology**, McGraw-Hill, New York, 1993.
- TAYLOR, K.E.; STOUFFER, R.J. AND MEEHL, G.A. An overview of CMIP5 and the experimental design. **Bulletin of the American Meteorological Society** 93: 485-498, 2012.
- THOMSON, A.M. et al. RCP4.5: A Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100. **Climatic Change.** 109:1-2, 77-94. doi:10.1007/s10584-011-0151-4, 2011.
- TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D.A. **A numerical approach for modelling sub-grid variability in tropical catchment.** Hydrological Processes – submitted, 2013.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G. Pedotransfer Functions for tropical soils. In: PACHEPSKY Y.; RAWLS, W.J.. (Org.) **Developments in Soil Science: Pedotransfer Functions in Hydrology.** Amsterdam: Elsevier, 30, 415-435, 2005.
- WATANABE, M. et al. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. **Journal of Climate,** 23, 6312–6335. doi:10.1175/2010JCLI3679.1, 2010.