

Mudanças Climáticas nos Estudos e Planos de Recursos Hídricos

Saulo Aires de Souza

Especialista em Recursos Hídricos

Coordenação de Estudos Hidrológicos (COHID)

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

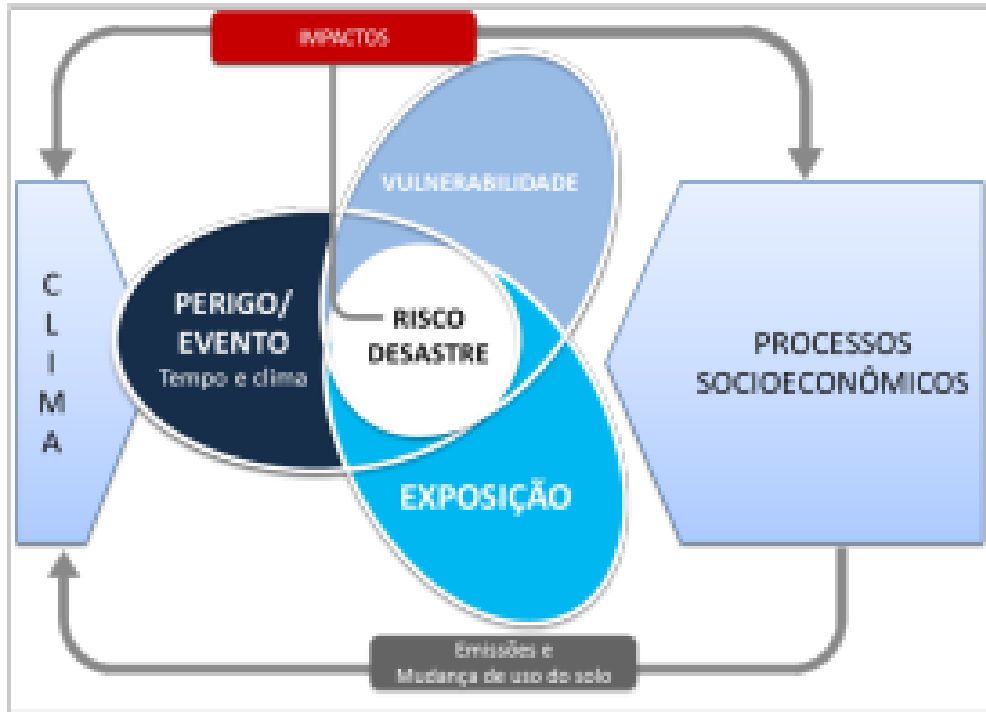


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

Clima e Planejamento de Recursos Hídricos

Linhas de Atuação

Determinantes de riscos climáticos



01. Diagnóstico do Clima

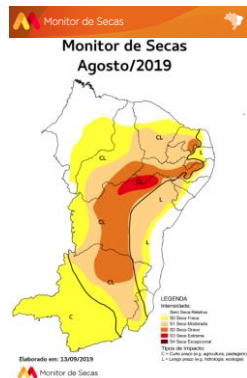
- Monitoramento do **clima presente** (variabilidade climática de alta e baixa frequência);
- Análise de **estacionariedade**;
- Análise de cenários climáticos futuros oriundos da modelagem da **tendência observada**;
- Análise de cenários climáticos futuros oriundos dos **MCG's**;

02. Impactos e Estratégias de Adaptação

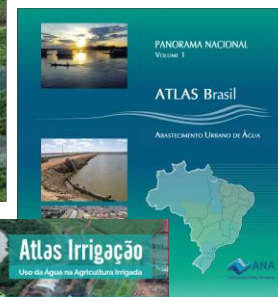
- Avaliação do **impacto** do risco climático nos diferentes usuários;
- Avaliação da **segurança hídrica**;
- Definição de estratégias de **adaptação**.

Ações da ANA na questão do clima

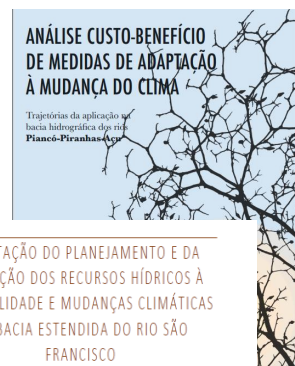
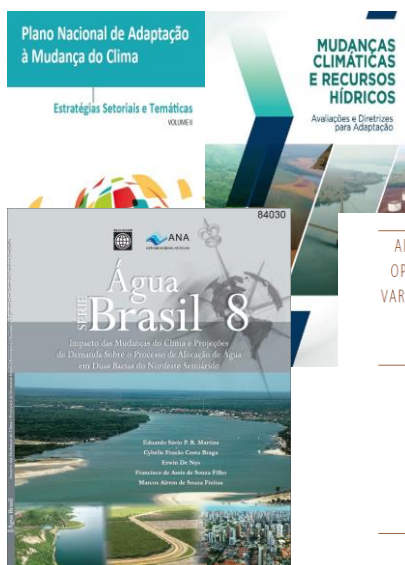
Monitoramento do Clima Presente



Impacto e Adaptação



Clima Futuro

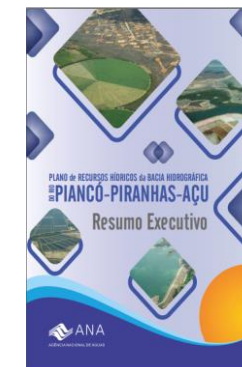


ADAPTAÇÃO DO PLANEJAMENTO E DA OPERAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS À VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA ESTENDIDA DO RIO SÃO FRANCISCO

PROJETO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA ANA-UFPA Nº 003/2013

Sumário Executivo

Planos de Recursos Hídricos



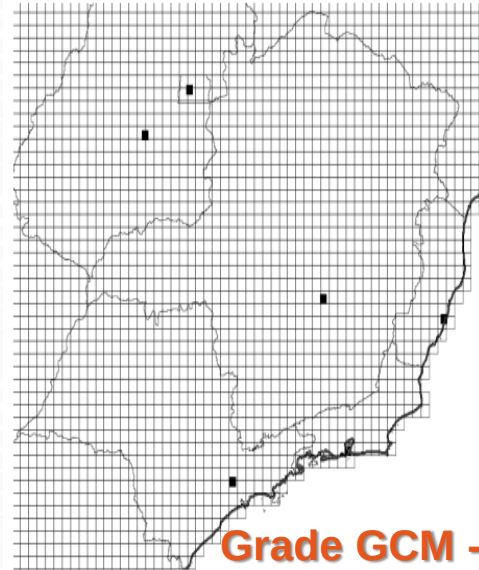
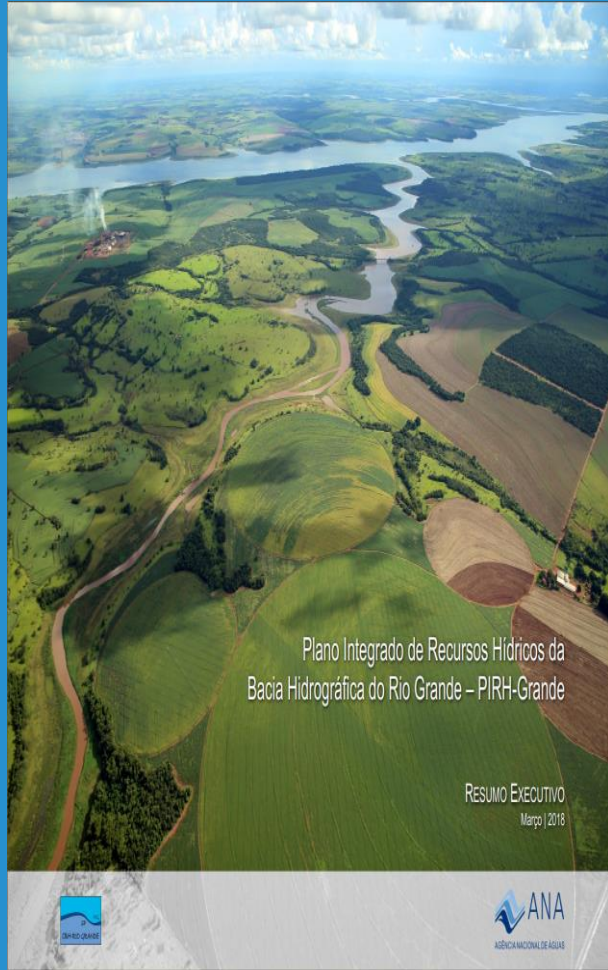
Ciência e Educação



LINHA DO TEMPO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ANA



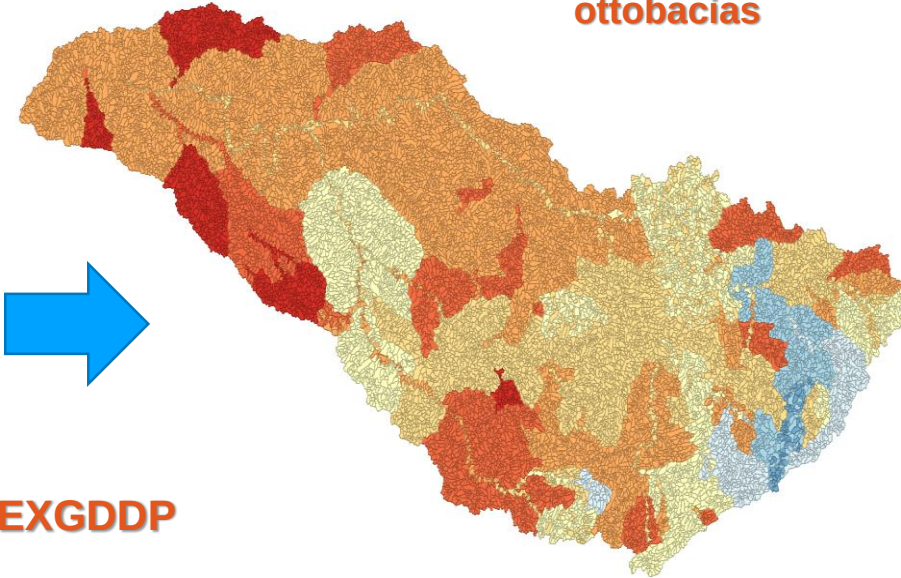
Impacto das Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Grande



Etapas:

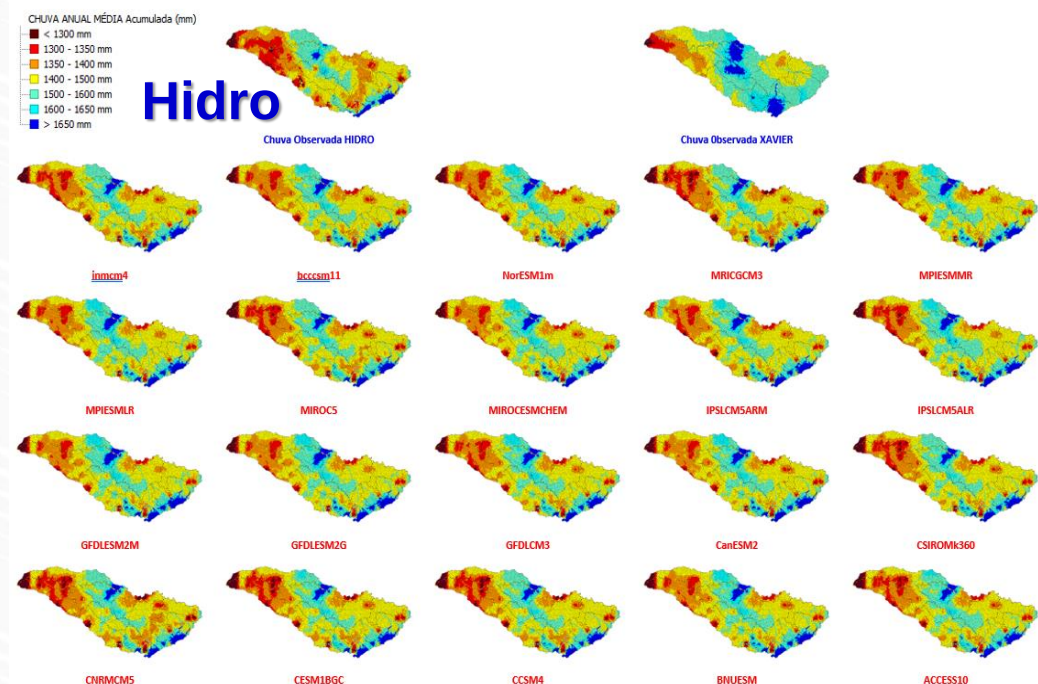
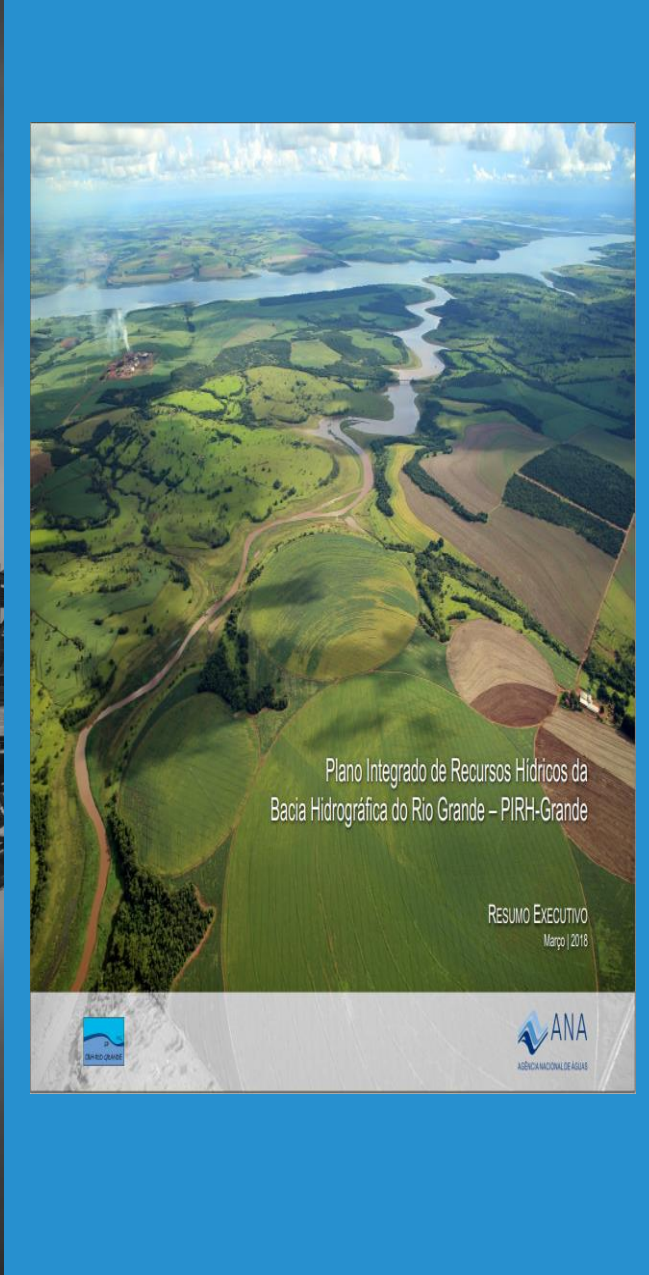
1. Levantamento dos Dados Hidrometeorológicos;
2. Correção de Viés dos dados MCGs;
3. Avaliação dos dados climáticos dos MCGs;
4. Disponibilidade Hídrica (oferta);
5. Demanda Hídrica e;
6. Balanço Hídrico.

~20,000 subbacias ou
ottobacias



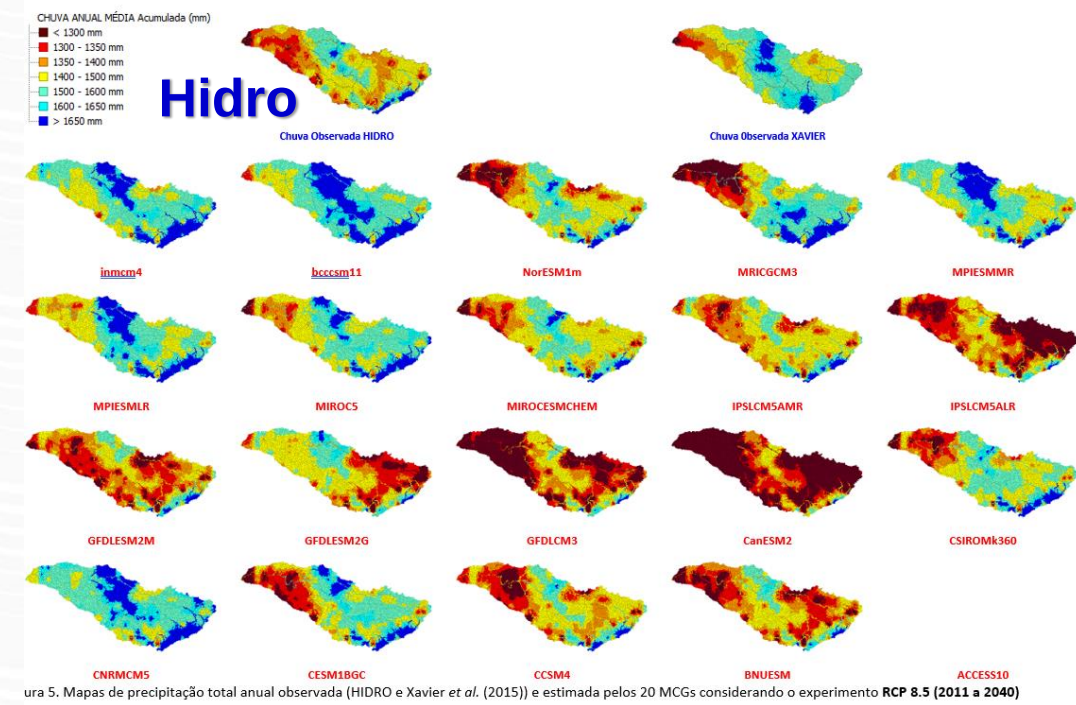
20 modelos

Modelo	Codigo
inmcm4	M01
bccscsm11	M02
NorESM1m	M03
MRICGCM3	M04
MPIESMMR	M05
MPIESMLR	M06
MIROC5	M07
MIROCESM3CHEM	M08
IPSLCM5ARM	M09
IPSLCM5ALR	M10
GFDLES2M2M	M11
GFDLES2M2G	M12
GFDLCM3	M13
CanESM2	M14
CSIROMk360	M15
CNRMCM5	M16
CESM1BGC	M17
CCSM4	M18
BNUESM	M19
ACCESS10	M20



PRESENTE
Historical
1950-2005

FUTURO
RCP 8.5
2011-2040



Disponibilidade Hídrica

Regionalização de Vazões Mínimas

Média
valores
20 modelos



RCP 8.5 (2011-2040)

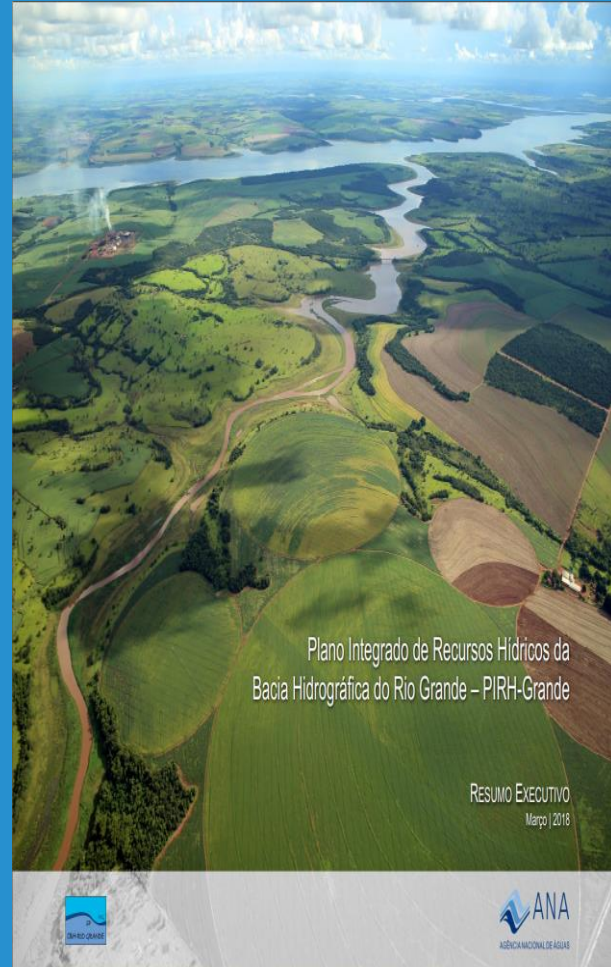
RCP 8.5 (2006-2100)

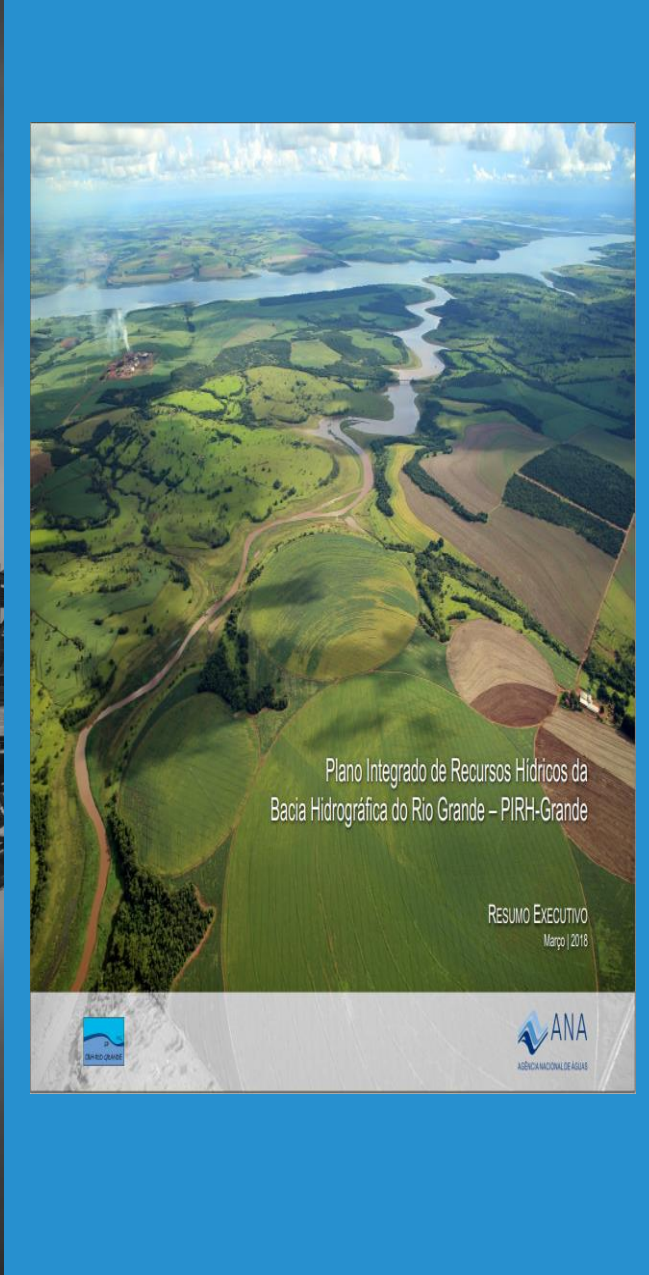


Demanda Hídrica

PRESENTE

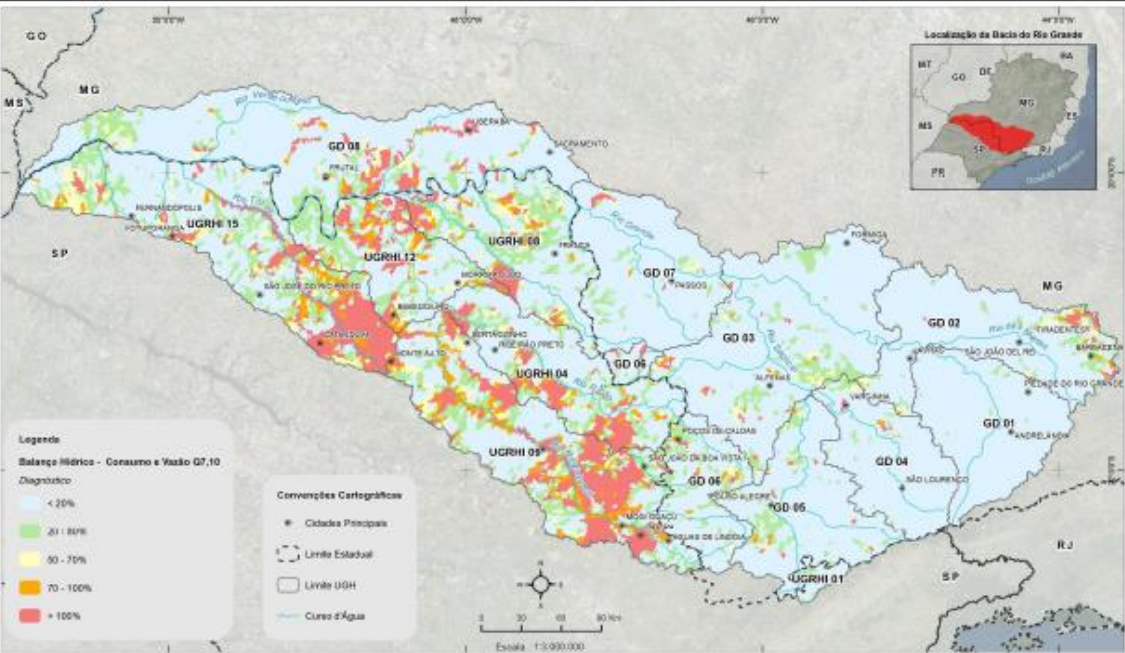
FUTURO



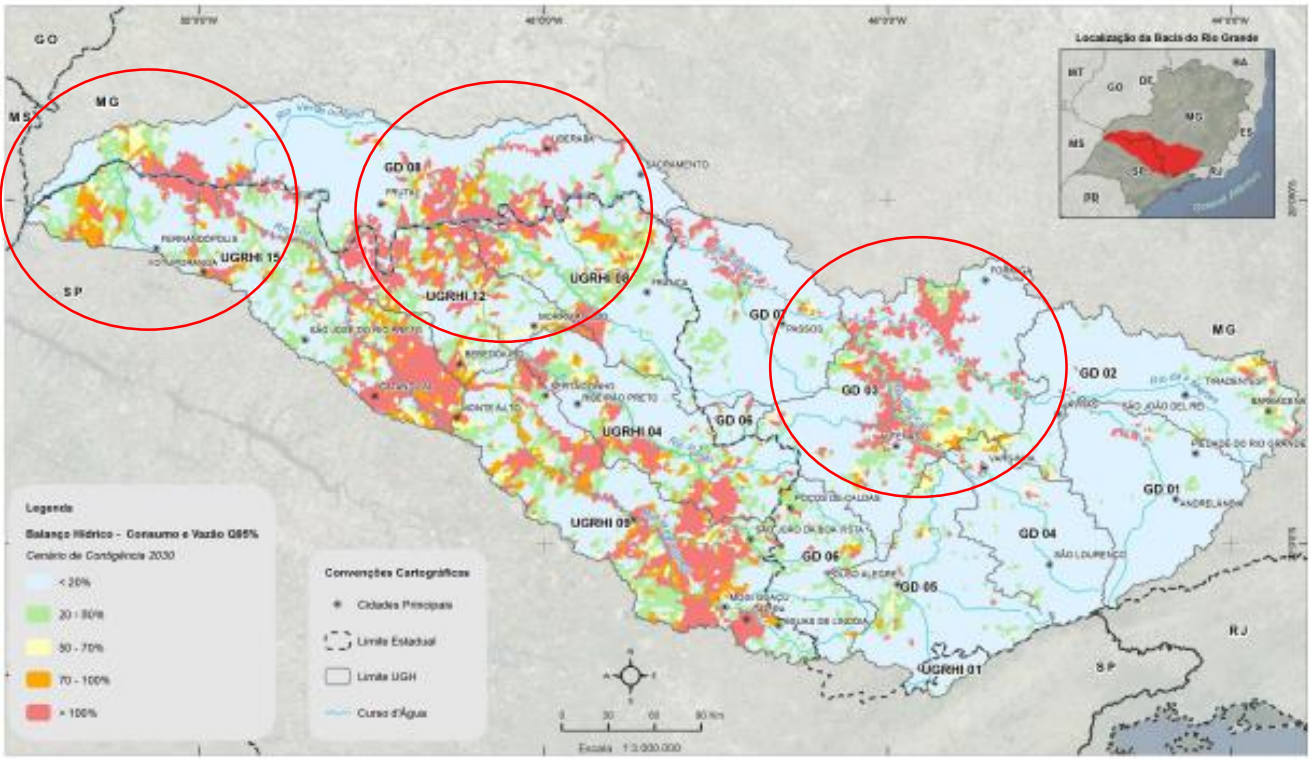


BALANÇO HÍDRICO

DIAGNOSTICO
PRESENTE



FUTURO
MUDANÇAS
CLIMÁTICAS



Análise Custo-Benefício na bacia Piancó-Piranhas-Açu

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu

FGV EAESP
CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

A BACIA DO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU

No de ocorrências de seca entre 1990 a 2010

1154 no RN e
1599 na PB

93,4% dos municípios no RN e 94,14% na PB foram afetados pela seca entre 1990 e 2010

Em razão de suas particularidades climáticas, a bacia se caracteriza essencialmente com um sistema de reservatórios integrados que trabalham para manter alguns trechos perenes e atender aos usuários quando a precipitação é reduzida ou ausente, permitindo o abastecimento durante os períodos de estiagem.

Localizada no semiárido setentrional, a região é identificada pela elevada variabilidade climática, com chuvas concentradas apenas entre fevereiro e maio, de tempos em tempos passa por secas severas que perduram por anos sequenciais

Framework conceitual para realização de uma Análise de Custo-Benefício em recursos hídricos

2.4

ETAPA 1 Caracterização do Risco Físico

Onde e a que risco(s) estamos susceptíveis?

Cenários climáticos:
alterações nos padrões
hidrometeorológicos

Cenários de
distribuição e
disponibilidade
e hídrica:

Padrões de vazão futura
(oferta)

Trajetórias
socioeconômicas locais
(demandas)

RISCO
FÍSICO

Risco físico
recalculado

ETAPA 2 Cálculo do Risco Climático Total

Qual a magnitude da perda esperada?

Métodos de estimação de perdas
por setor usuário

Perdas econômicas por cenário:
RISCO CLIMÁTICO TOTAL

Perdas econômicas
recalculadas

Novas vazões

Novas demandas

MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

ETAPA 3 Avaliação de medidas

Como responder?

Custo da
medida

Perda evitada:
benefício da
medida

RELAÇÃO
CUSTO/BENEFÍCIO

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na
bacia hidrográfica dos rios
Piancó-Piranhas-Açu

FGV EAESP
CENTRO DE ESTUDOS
EM SUSTENTABILIDADE

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

A BACIA DO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU

No de ocorrências de
seca entre 1990 a 2010

**1154 no RN e
1599 na PB**

93,4% dos municípios no RN e 94,14% na PB foram
afetados pela seca entre 1990 e 2010

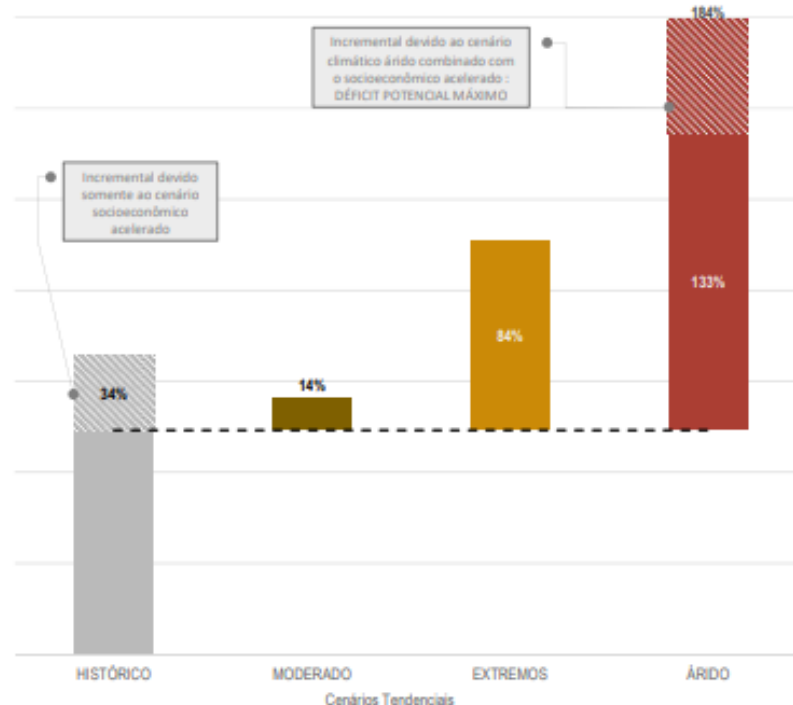
Localizada no semiárido setentrional, a
região é identificada pela elevada
variabilidade climática, com chuvas
concentradas apenas entre fevereiro e
maio, de tempos em tempos passa por
secas severas que perduram por anos
sequenciais

Em razão de suas particularidades climáticas, a bacia se caracteriza
essencialmente com um sistema de reservatórios integrados
que trabalham para manter alguns trechos perenes e atender aos
usuários quando a precipitação é reduzida ou ausente, permitindo o
abastecimento durante os períodos de estiagem.

Cenários Socioeconômicos de Demanda de Água		Cenários Climáticos de Oferta de Água			
		Histórico	Árido	Extremos	Moderado
Demandas futuras	Tendencial	Te-H	Te-A	Te-E	Te-M
	Acelerado	Ac-H	Ac-A	Ac-E	Ac-M
	Estagnado	Es-H	Es-A	Es-E	Es-M

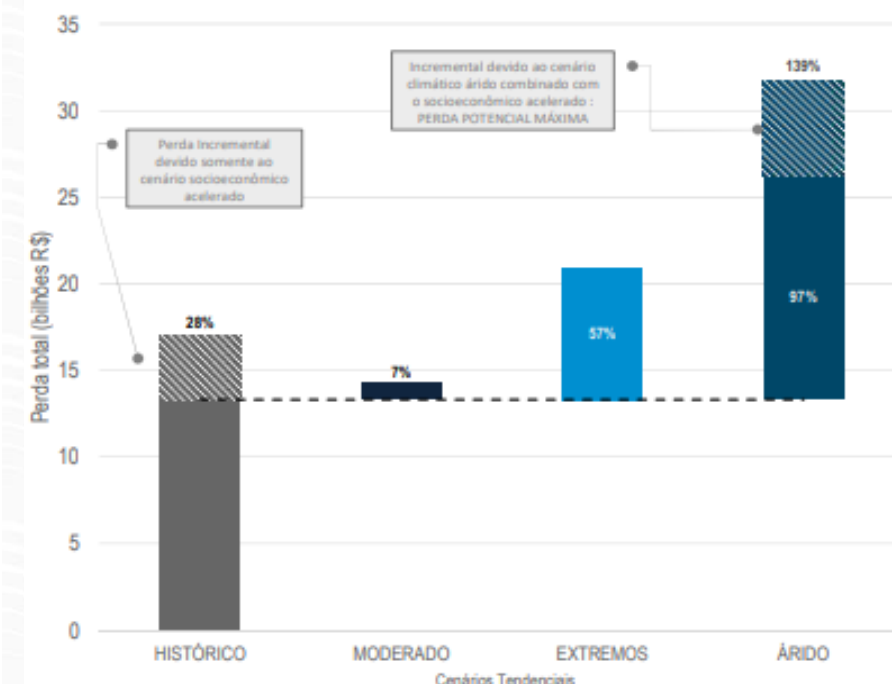
RISCO FÍSICO

Déficit acumulado total da bacia (2016 a 2065) e incrementais por cenário



RISCO CLIMÁTICO TOTAL

Perda econômica total acumulada da bacia (2016 a 2065) e incrementais por cenário



ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios **Piancó-Piranhas-Açu**

FGV EAESP
CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

A BACIA DO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU

Nº de ocorrências de seca entre 1990 e 2010

1154 no RN e 1599 na PB

93,4% dos municípios no RN e 94,14% na PB foram afetados pela seca entre 1990 e 2010

Localizada no semiárido setentrional, a região é identificada pela elevada variabilidade climática, com chuvas concentradas apenas entre fevereiro e maio, de tempos em tempos passa por secas severas que perduram por anos sequenciais

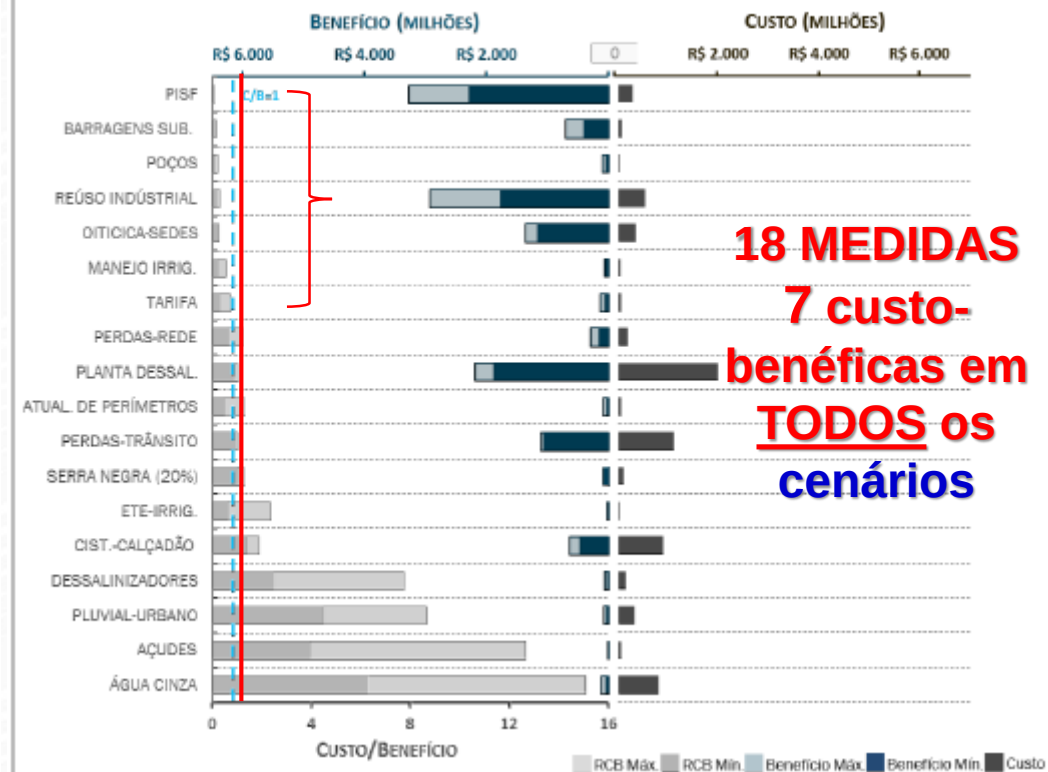
Em razão de suas particularidades climáticas, a bacia se caracteriza essencialmente com um sistema de reservatórios integrados que trabalham para manter alguns trechos perenes e atender aos usuários quando a precipitação é reduzida ou ausente, permitindo o abastecimento durante os períodos de estiagem.

CATEGORIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

CATEGORIAS	DEFINIÇÃO
Aumento de Oferta	Medidas que se utilizam de fontes de água ainda não exploradas na bacia, por exemplo, o aumento da capacidade de reservação.
Redução de Demanda	Medidas que buscam reduzir o consumo de água pelos usuários para um mesmo nível de produção.
Redução de Perdas	Medidas que visam reduzir quaisquer perdas (reais ou aparentes) nos sistemas de distribuição de água.
Reúso	Medidas que objetivam tratar e reutilizar água já empregada para algum uso prévio.
Alocação Eficiente	Medidas que buscam alterar o padrão de consumo hídrico entre diferentes atividades, aumentando a participação de usos que geram maior valor (econômico).
Grandes Obras	Medidas cuja implementação é essencialmente viabilizada através de obras estruturais, como reservatórios, plantas de dessalinização e obras de redução de perdas na distribuição.
Usos Difusos Rurais	Medidas cuja implementação é focada na área rural e seus usuários mais difusos, como pequenos agricultores e pequenos municípios. Exemplos: poços, cisternas.
Grandes Irrigantes	Embora também em área rural, a implementação se dá a partir de grandes irrigantes mais concentrados e com foco no consumo de água da sua produção agropecuária, como a adoção de novas tecnologias de irrigação.
Usuários Urbanos	Medidas implementadas em ambientes urbanos pelos seus usuários, como a captação de água pluvial em residências ou incentivos econômicos para redução de consumo de água da rede.
Industrial	Medidas implementadas pelos usuários industriais de água visando redução, reúso ou geração de oferta de água pelos mesmos.

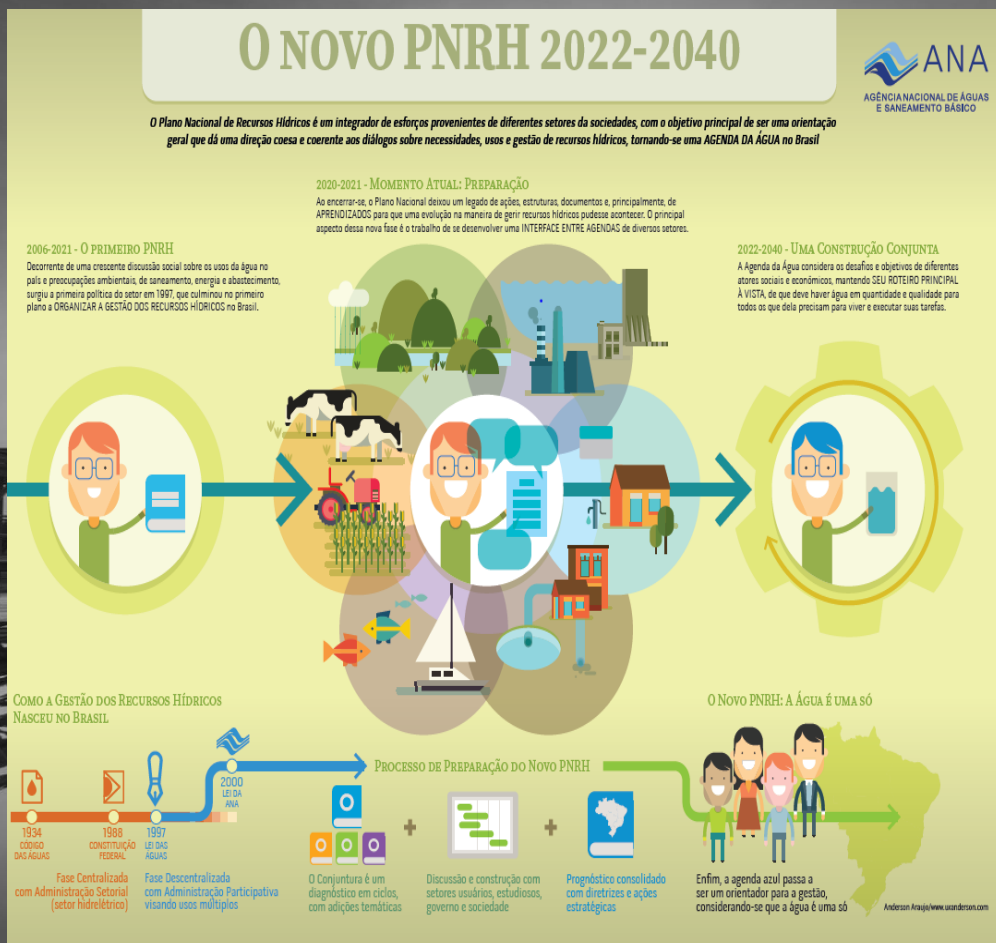
Resultados consolidados da ACB

4.8



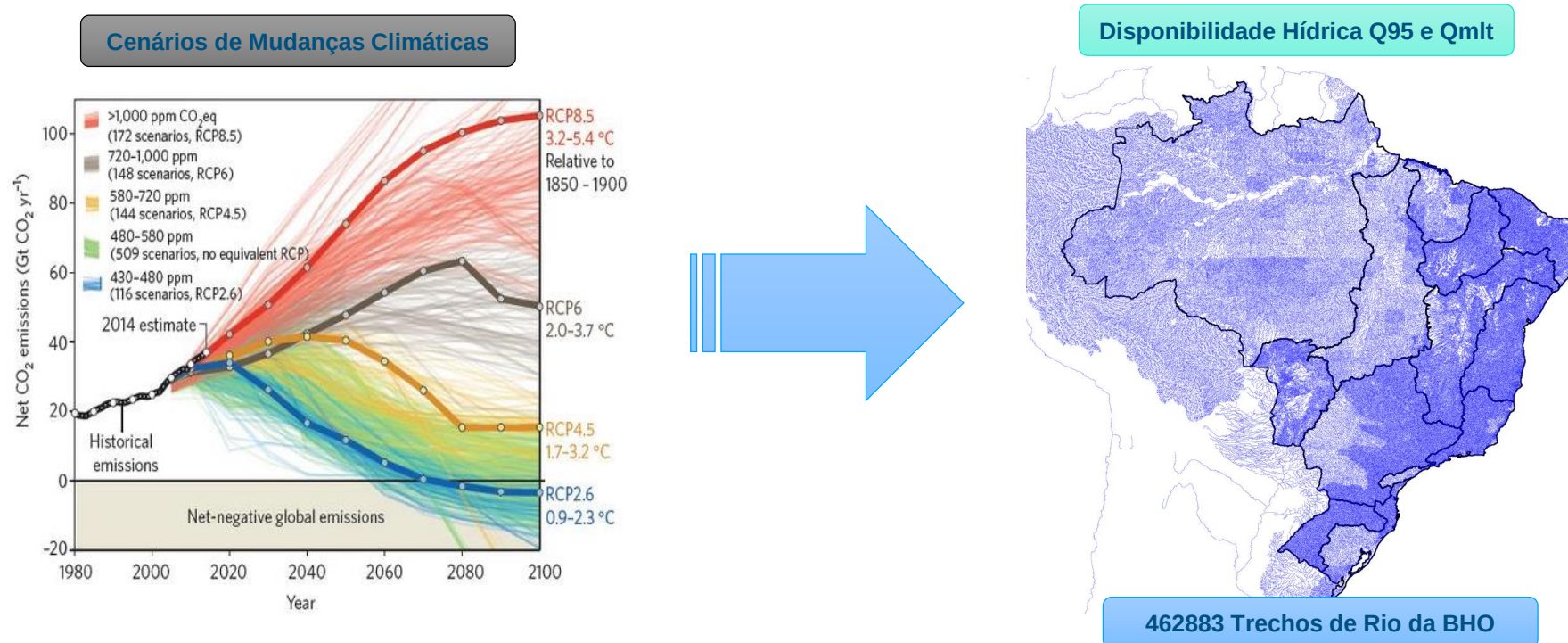
Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

- Impactos das Mudanças Climáticas na **OFERTA** e **DEMANDA** Hídrica
- Rebatimentos no **Balanco Hídrico**

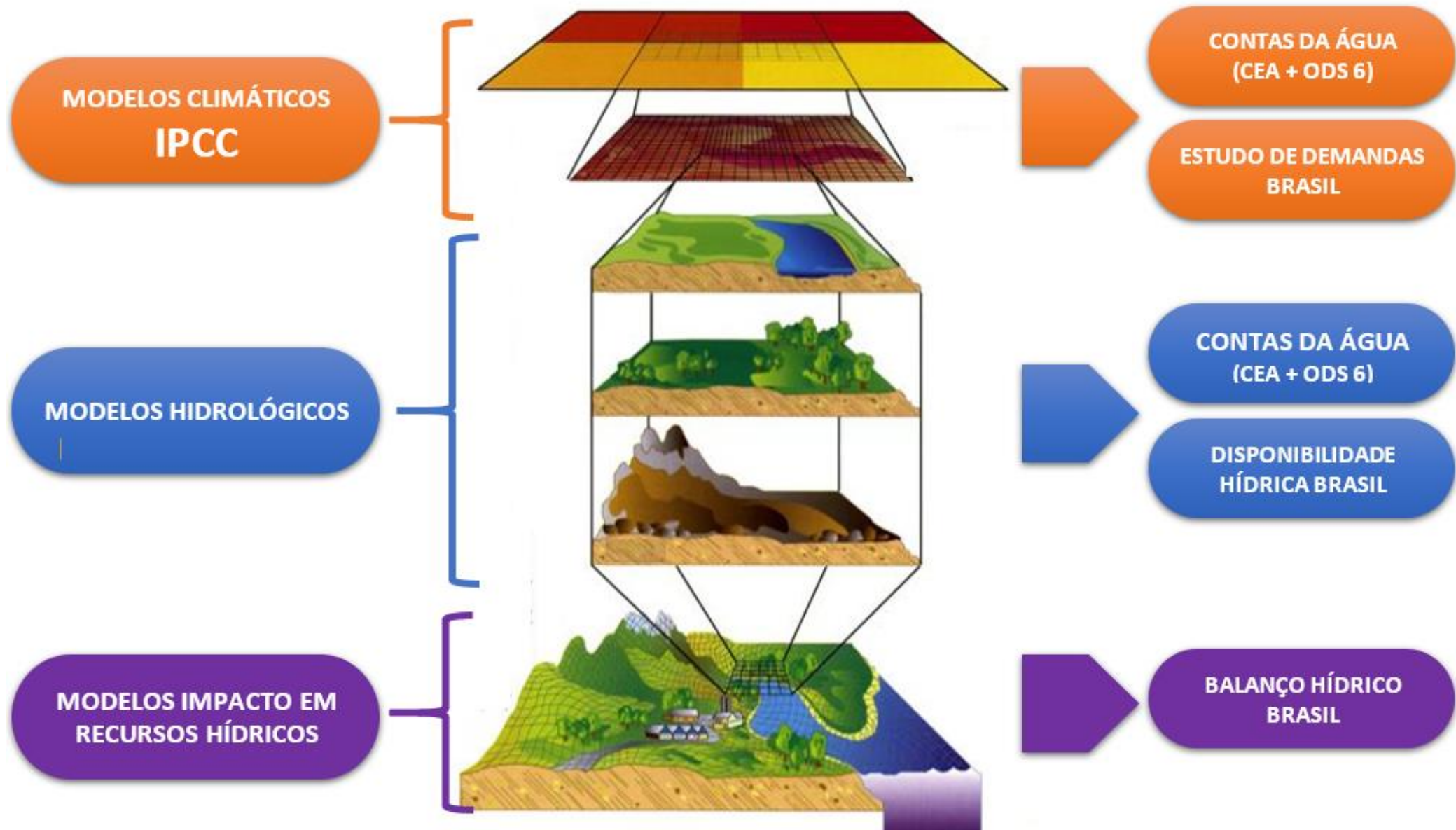


IMPACTO NA OFERTA HÍDRICA

Avaliar os cenários representativos de mudança do clima e os **impactos** decorrentes dessas mudanças sobre a disponibilidade hídrica no Brasil. Essa avaliação se dá em diferentes horizontes temporais e na menor escala territorial disponível considerando o recorte espacial (BHO) definido para o PNRH.

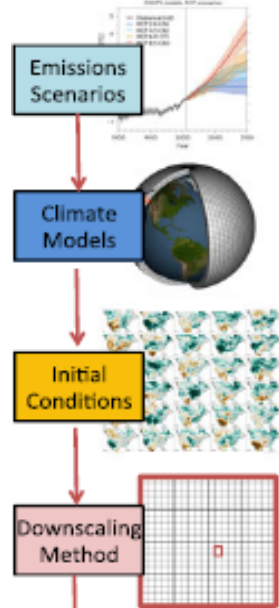


Framework Básico das Mudanças Climáticas no PNRH

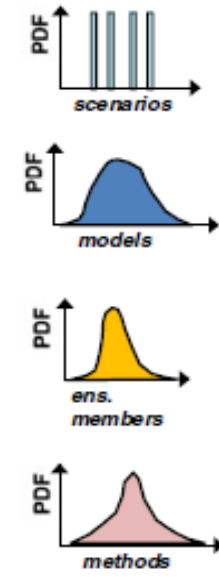


Framework Detalhado das Mudanças Climáticas no PNRH

Climate Impacts Modeling Chain



Characterizing Uncertainties



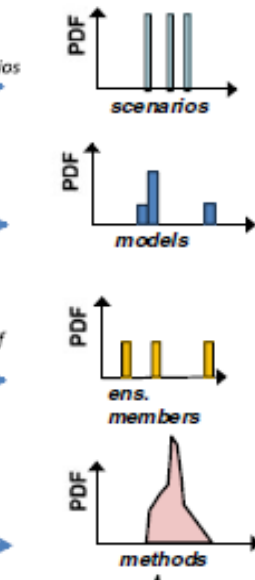
Selection of likely scenarios

Informed Sampling

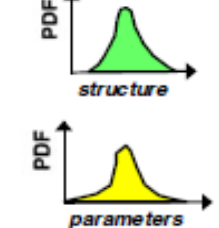
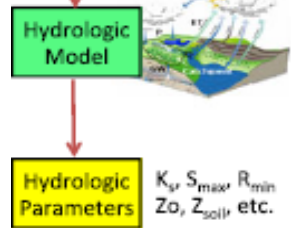
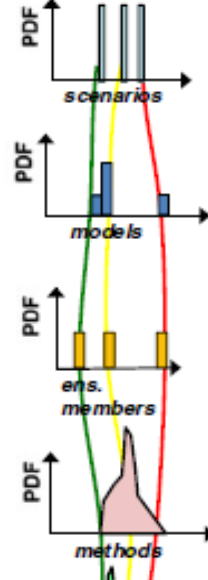
Sampling of Variability

More Reliable methods

Reducing Uncertainties

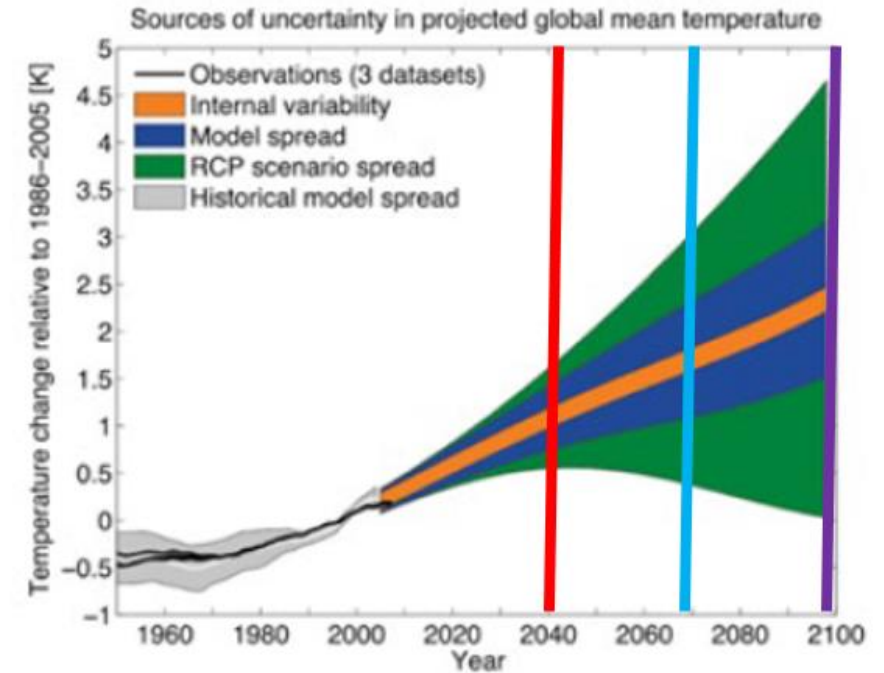
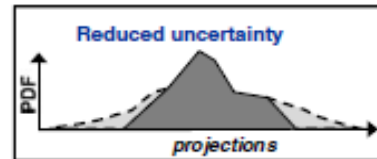
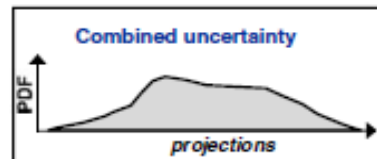
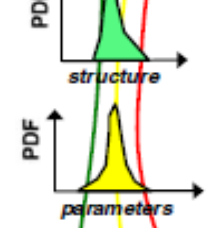
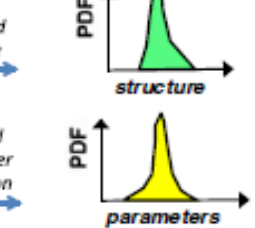


Hydrologic Storylines

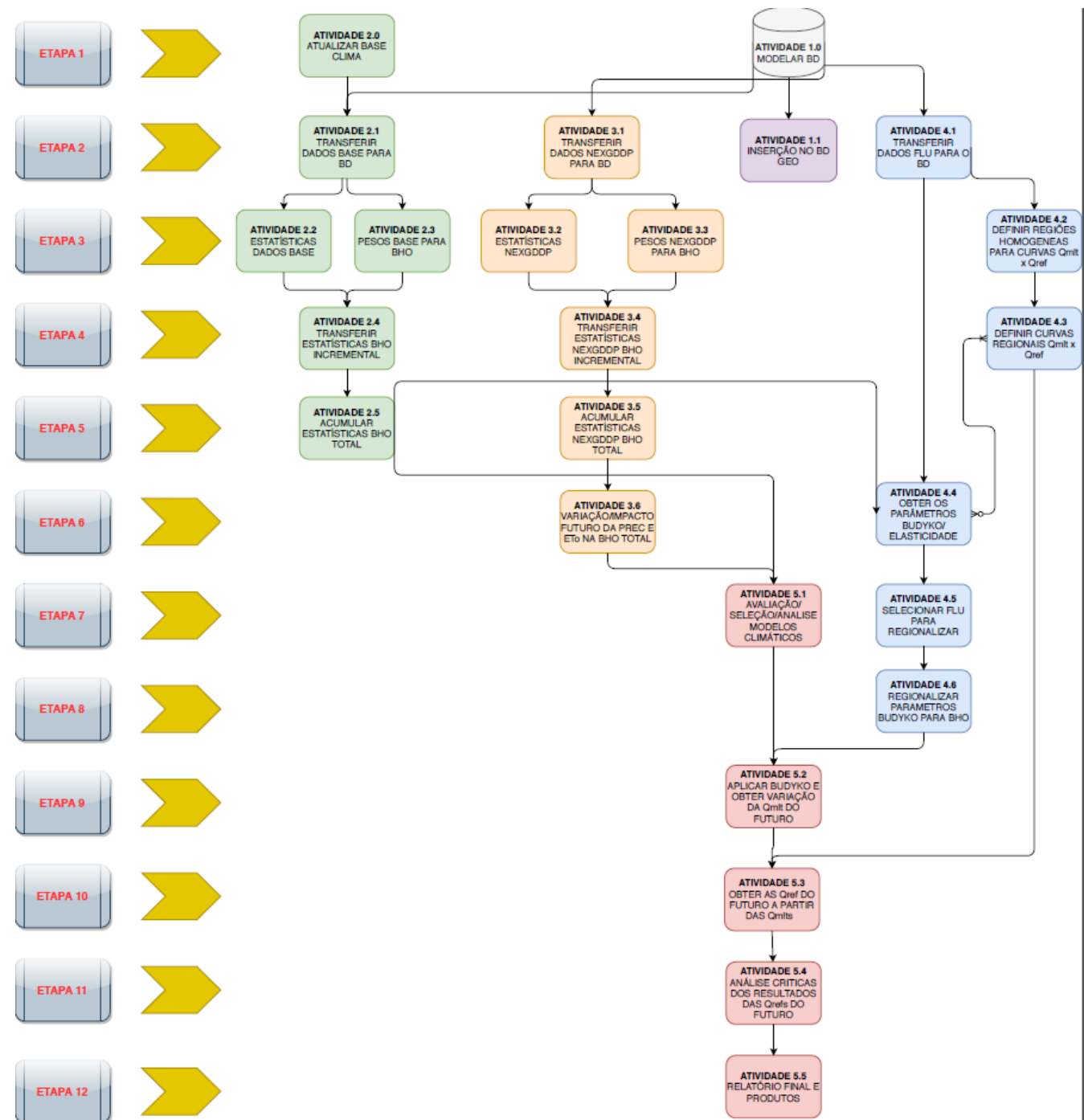
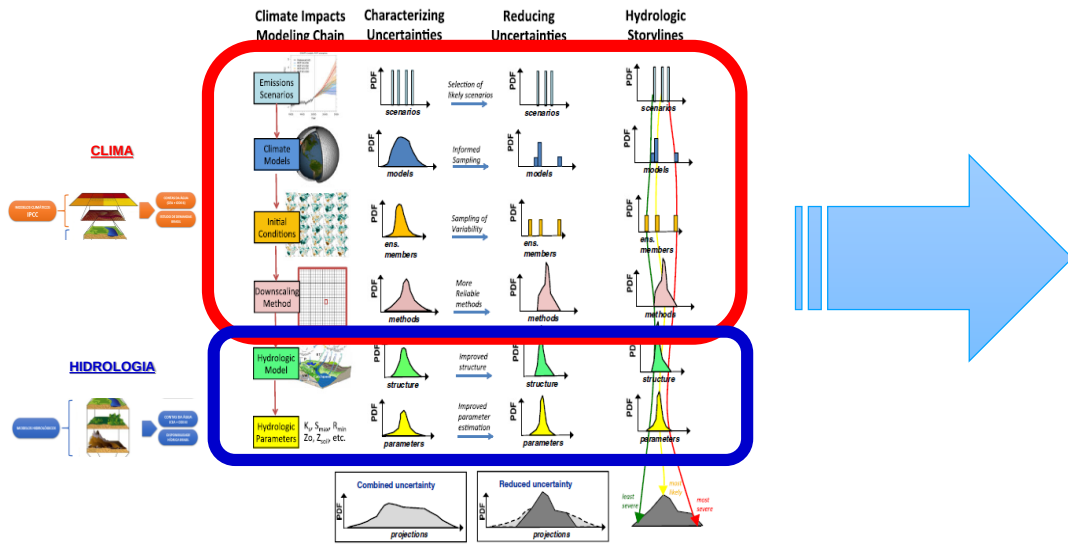


Improved structure

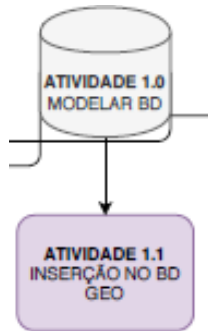
Improved parameter estimation



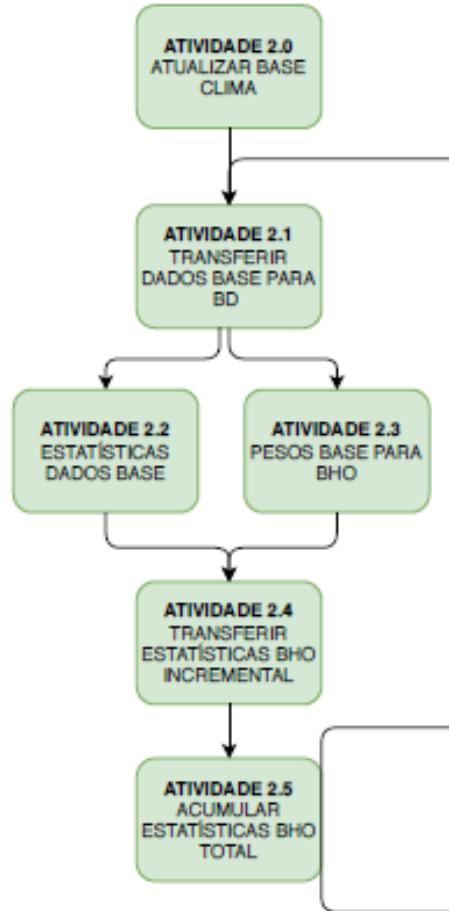
METODOLOGIA FLUXOGRAMA



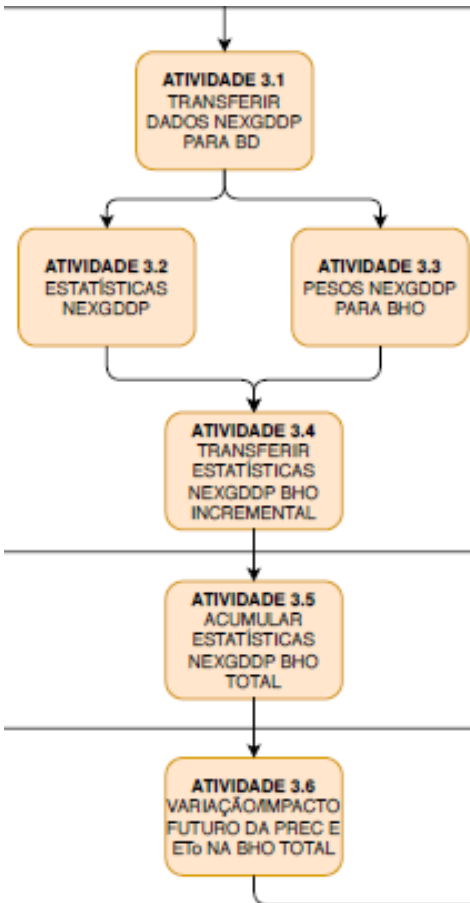
BANCO DE DADOS



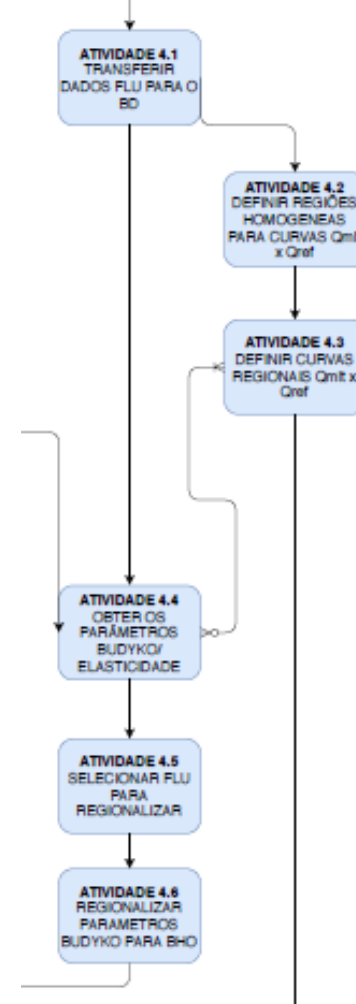
CLIMA OBSERVADO



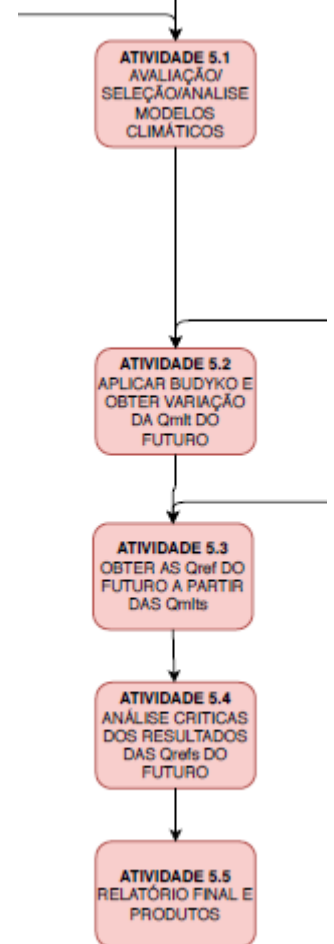
MODELOS CLIMÁTICOS



MODELOS HIDROLOGICOS



ANÁLISE DE IMPACTO



METODOLOGIA – Seleção da Modelagem Hidrológica

Modelos Hidrológicos

Caminhos para a etapa hidrologia/recursos hídricos – Quais modelos/abordagem de **transferência da informação climática** (P e ET) para **hidrologia** (Q) utilizar?

Abordagens:

- Modelos de Elasticidade/Budyko;
- Modelos de regionalização clássica com regressão múltipla;
- Modelos concentrados;
- Modelo distribuído MGB;

BEM DOCUMENTADO NA LITERATURA

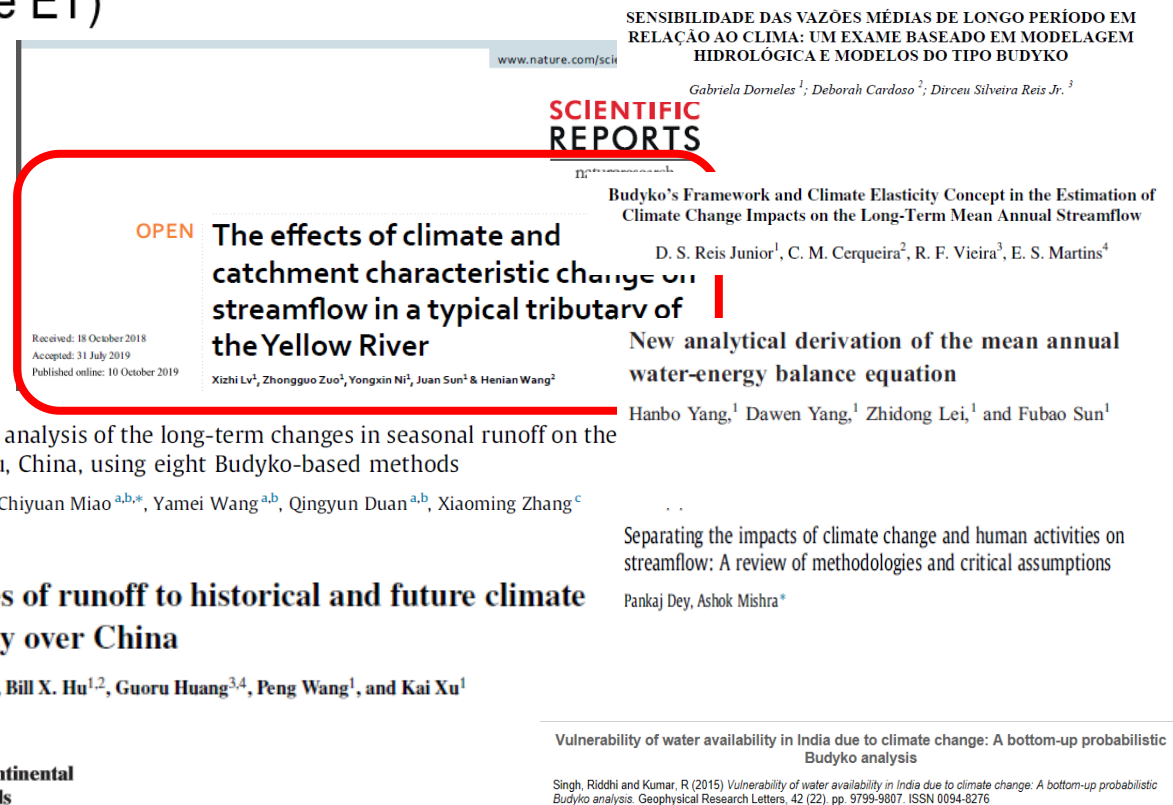
Estimation of Climate Change Impact on Mean Annual Runoff across Continental Australia Using Budyko and Fu Equations and Hydrological Models

J. TENG, F. H. S. CHIEW, AND J. VAZE

Water for a Healthy Country National Research Flagship, CSIRO Land and Water, Canberra, Australian Capital Territory, Australia

Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff

Hanbo Yang¹ and Dawen Yang¹



SCIENTIFIC REPORTS

Article | Open Access | Published: 14 September 2018

Assessment of the impacts of climatic variability and anthropogenic stress on hydrologic resilience to warming shifts in Peninsular India

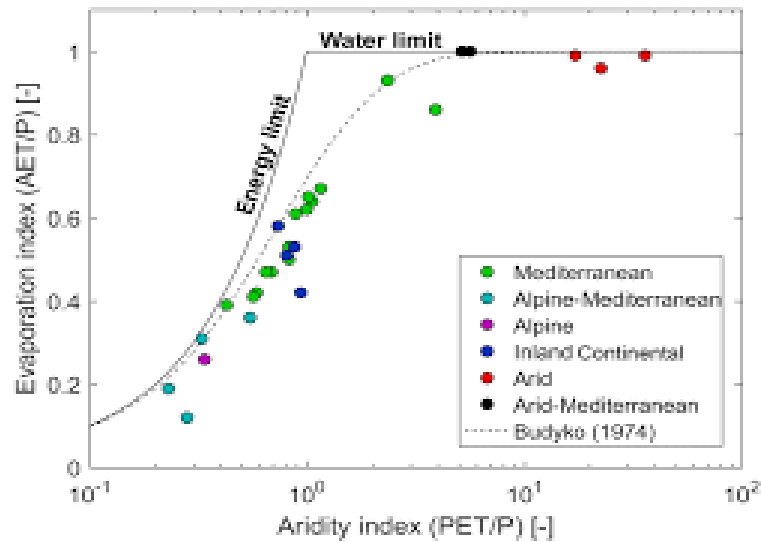
Jhilam Sinha, Ashutosh Sharma, Manas Khan & Manish Kumar Goyal

Hydrological Research Letters 9(4), 75–83 (2015)
Published online in J-STAGE (www.jstage.jst.go.jp/browse/hrl). DOI: 10.3178/hrl.9.75

Comparison of future runoff projections using Budyko framework and global hydrologic model: conceptual simplicity vs process complexity

Rodrigo Fernandez^{1,2} and Takahiro Sayama³
¹International Centre for Water Hazard and Risk Management, Public Works Research Institute, Japan
²National Graduate Institute for Policy Studies, Japan
³Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan

METODOLOGIA – Modelagem Hidrológica - Hipótese de Budyko

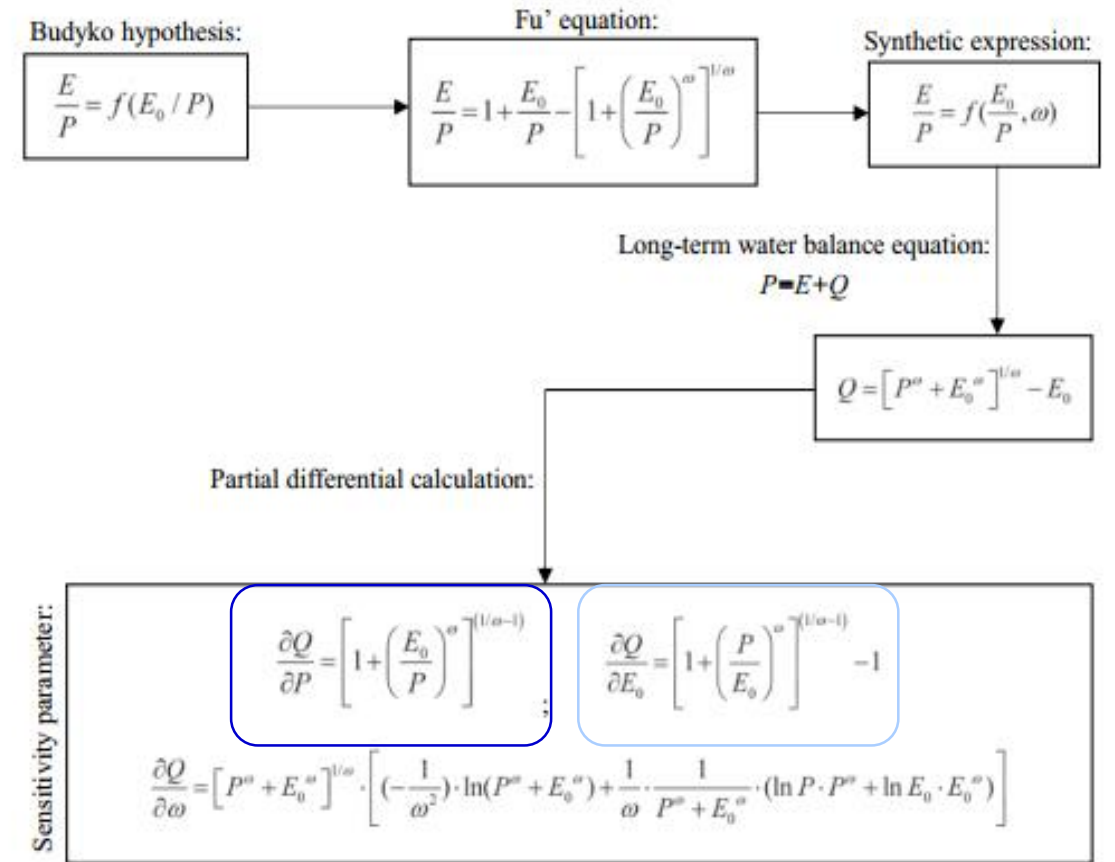


Based on the Budyko hypothesis, Baopu Fu put forward a group of differential equations regarding the Budyko hypothesis, and rewrote the equation as:

$$\frac{E}{P} = 1 + \frac{E_0}{P} - \left[1 + \left(\frac{E_0}{P} \right)^\omega \right]^{1/\omega} \quad (2)$$

Based on the long-term water balance equation ($P = E + Q$), Eq. (2) was used to deduce the simulation equation of streamflow (Q), shown as:

$$Q = [P^\omega + E_0^\omega]^{1/\omega} - E_0 \quad (4)$$



$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

CLIMA – Observado e Modelado

NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP)

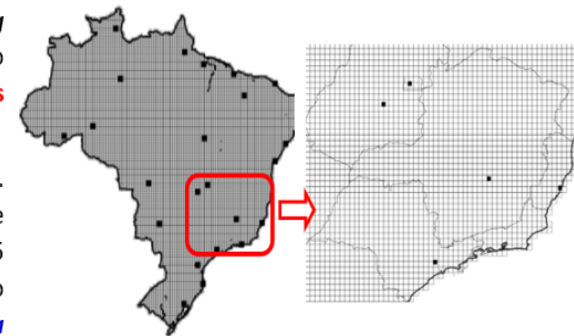
24 modelos
climáticos IPCC AR5

ACCESS1-0	CSIRO-MK3-6-0	MIROC-ESM
BCC-CSM1-1	GFDL-CM3	MIROC-ESM-CHEM
BNU-ESM	GFDL-ESM2G	MIROC5
CanESM2	GFDL-ESM2M	MPI-ESM-LR
CCSM4	INMCM4	MPI-ESM-MR
CESM1-BGC	IPSL-CM5A-LR	MRI-CGCM3
CNRM-CM5	IPSL-CM5A-MR	NorESM1-M

Em junho de 2015, a agência espacial americana (NASA) publicou por meio do projeto "NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections" (NEXGDDP) um conjunto de dados produto de um amplo downscaling estatístico dos cenários climáticos derivados das rodadas dos modelos de circulação geral (MCGs) utilizados no âmbito da quinta fase do IPCC denominado de CMIP5. As rodadas dos MCGs do CMIP5 apoiaram a elaboração do quinto relatório de avaliação do IPCC (IPCC AR5).

A geração de dados do projeto NEXGDDP através do **downscaling estatístico** englobou, além do experimento **historical** (experimento controle retrospectivo), as projeções **RCP4.5** e **RCP8.5** de **21 modelos climáticos** utilizados no CMIP5 com discretização temporal diária.

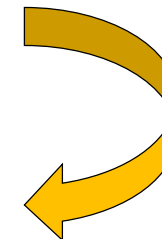
A resolução espacial adotada no NEXGDDP foi de **0.25° graus** (aprox. **25 km x 25 km**) de modo que os dados produzidos apresentam sempre a mesma grade independentemente do modelo climático. A figura 5 ilustra a grade do projeto NEXGDDP recortada para o Brasil. O período de dados do experimento controle denominado **historical** é de **1950 a 2005** (período adotado pelo NEXDDP). O período de dados disponíveis para as projeções **RCP4.5** e **RCP8.5** é de **2006 a 2100**.



Fonte	HIDRO-ANA	Fonte	ONS	Fonte	RHA	Fonte	CHIRPS
Tipo	VAZÃO, PREC e COTAS	Tipo	VAZÃO NAT	Tipo	VAZÃO NAT e PREC MÉDIA	Tipo	PREC
DiscTemp	DIÁRIA	DiscTemp	DIÁRIA	DiscTemp	MENSAL	DiscTemp	DIÁRIA
Período	VARIÁVEL	Período	VARIÁVEL	Período	VARIÁVEL	Período	1980-2019
Fonte	MERGE	Fonte	INMET	Fonte	XAVIER	Fonte	CRU
Tipo	PREC	Tipo	CLIMÁTICOS	Tipo	CLIMÁTICOS	Tipo	CLIMÁTICOS
DiscTemp	DIÁRIA	DiscTemp	DIÁRIA	DiscTemp	DIÁRIA	DiscTemp	MENSAL
Período	1998-2019	Período	VARIÁVEL	Período	1980-2013	Período	1901-2019



- pnrh_mc
 - Casts
 - Catalogs
 - Event Triggers
 - Extensions (3)
 - dblink
 - plpgsql
 - postgis
 - Foreign Data Wrappers
 - Languages
 - Schemas (6)
 - flu_plu_etp_media
 - geoft
 - hidro
 - nexgddp
 - public
 - xavier



PROJETA PROJEÇÕES DE MUDANÇA DO CLIMA PARA A AMÉRICA DO SUL
REGIONALIZADAS PELO MODELO ETA

METODOLOGIA – Estatísticas das variáveis de interesse

variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49

																			2071-2100 (horizonte 3)					
														2041-2070 (horizonte 2)										
								2006-2040 (horizonte 1 ou horizonte plano)																
1980-2016 (Baseline)																								
1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	2070	2075	2080	2085	2090	2095	2100



1980-2016 (Baseline)

variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49

variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49

variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49

variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49

Modelo
inmcm4
bccrsm11
NorESM1m
MRICGCM3
MPIESMMR
MPIESMLR
MIROC5
MIROCESM2CHEM
IPSLCM5ARM
IPSLCM5ALR
GFDLES2M2M
GFDLES2M2G
GFDLCM3
CanESM2
CSIROMk360
CNRMCM5
CESM1BGC
CCSM4
BNUESM
ACCESS10

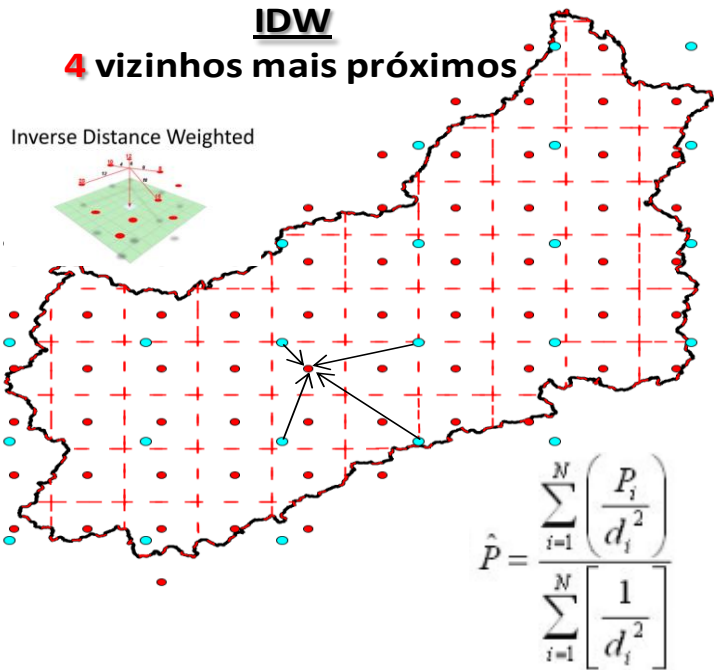
RCP4.5
RCP8.5

1980-2016 (Baseline)	2006-2040	2041-2070	2071-2100																																																																																																																																																																																																								
<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		

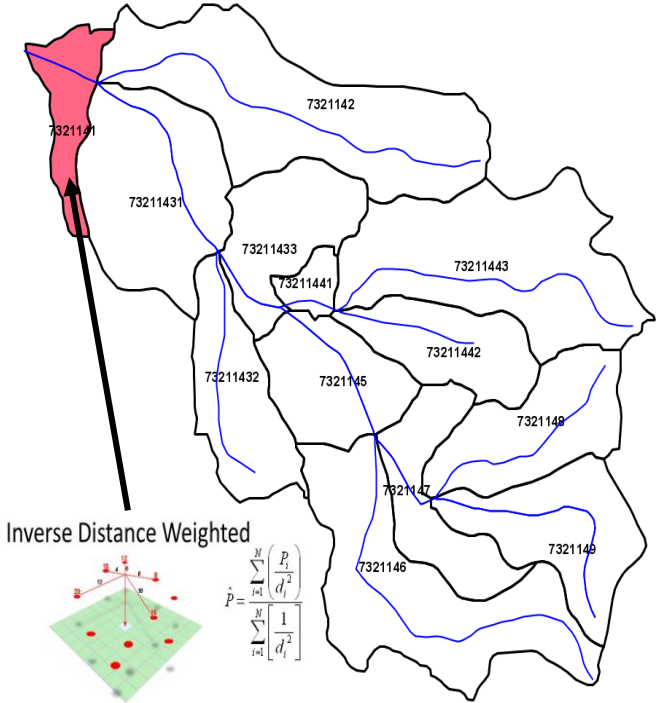
RCP4.5
RCP8.5

1980-2016 (Baseline)	2006-2040	2041-2070	2071-2100																																																																																																																																																																																																								
<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49	<table><tr><th>variável/estatística</th><th>n</th><th>med</th><th>dp</th><th>cv</th><th>min</th><th>max</th><th>q50</th><th>q25</th><th>q75</th></tr><tr><td>Prec</td><td>x11</td><td>x12</td><td>x13</td><td>x14</td><td>x15</td><td>x16</td><td>x17</td><td>x18</td><td>x19</td></tr><tr><td>TempMin</td><td>x21</td><td>x22</td><td>x23</td><td>x24</td><td>x25</td><td>x26</td><td>x27</td><td>x28</td><td>x29</td></tr><tr><td>TempMax</td><td>x31</td><td>x32</td><td>x33</td><td>x34</td><td>x35</td><td>x36</td><td>x37</td><td>x38</td><td>x39</td></tr><tr><td>EtpHV</td><td>x41</td><td>x42</td><td>x43</td><td>x44</td><td>x45</td><td>x46</td><td>x47</td><td>x48</td><td>x49</td></tr></table>	variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75	Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39	EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		
variável/estatística	n	med	dp	cv	min	max	q50	q25	q75																																																																																																																																																																																																		
Prec	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19																																																																																																																																																																																																		
TempMin	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29																																																																																																																																																																																																		
TempMax	x31	x32	x33	x34	x35	x36	x37	x38	x39																																																																																																																																																																																																		
EtpHV	x41	x42	x43	x44	x45	x46	x47	x48	x49																																																																																																																																																																																																		

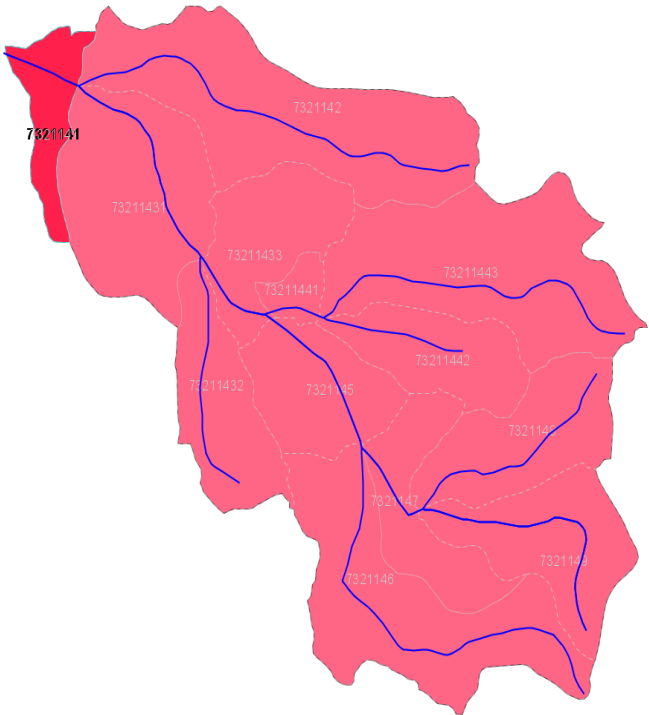
METODOLOGIA – Agregação das estatísticas nas bacias



INCREMENTAL



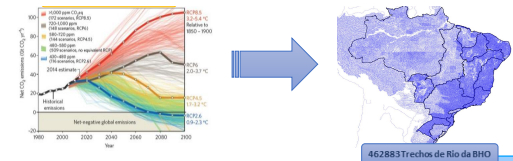
AGREGADO



$$\hat{P} = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + P_3 A_3 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \sum_{i=1}^n P_i \frac{A_i}{A}$$

$\frac{A_i}{A}$ É o peso de cada ottobacia

METODOLOGIA – Resultados em todas ottobacias



INCREMENTAL

AGREGADO

- OTTOBACIA 1
- OTTOBACIA 2
- OTTOBACIA 3
- OTTOBACIA 4
- OTTOBACIA 5
- OTTOBACIA 6
- .
- .
- .
- .
- OTTOBACIA 462882
- OTTOBACIA 462883

Modelo

RCP4.5

RCP8.5

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

inmcm4

bccscm11

NorESM1m

MRICGCM3

MPIESMMR

MPIESMLR

MIROC5

MIROCESMCHEM

IPSLCM5ARM

IPSLCM5ALR

GFDLES2M

GFDLES2G

GFDLCM3

CanESM2

CSIROMk360

CNRMCM5

CESM1BGC

CCSM4

BNUESM

ACCESS10

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

Modelo

RCP4.5

RCP8.5

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

inmcm4

bccscm11

NorESM1m

MRICGCM3

MPIESMMR

MPIESMLR

MIROC5

MIROCESMCHEM

IPSLCM5ARM

IPSLCM5ALR

GFDLES2M

GFDLES2G

GFDLCM3

CanESM2

CSIROMk360

CNRMCM5

CESM1BGC

CCSM4

BNUESM

ACCESS10

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

- OTTOBACIA 1
- OTTOBACIA 2
- OTTOBACIA 3
- OTTOBACIA 4
- OTTOBACIA 5
- OTTOBACIA 6
- .
- .
- .
- .
- .
- OTTOBACIA 462882
- OTTOBACIA 462883

Modelo

RCP4.5

RCP8.5

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

inmcm4

bccscm11

NorESM1m

MRICGCM3

MPIESMMR

MPIESMLR

MIROC5

MIROCESMCHEM

IPSLCM5ARM

IPSLCM5ALR

GFDLES2M

GFDLES2G

GFDLCM3

CanESM2

CSIROMk360

CNRMCM5

CESM1BGC

CCSM4

BNUESM

ACCESS10

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

Modelo

RCP4.5

RCP8.5

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

inmcm4

bccscm11

NorESM1m

MRICGCM3

MPIESMMR

MPIESMLR

MIROC5

MIROCESMCHEM

IPSLCM5ARM

IPSLCM5ALR

GFDLES2M

GFDLES2G

GFDLCM3

CanESM2

CSIROMk360

CNRMCM5

CESM1BGC

CCSM4

BNUESM

ACCESS10

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

2041-2070

2071-2100

1980-2016 (Baseline)

2006-2040

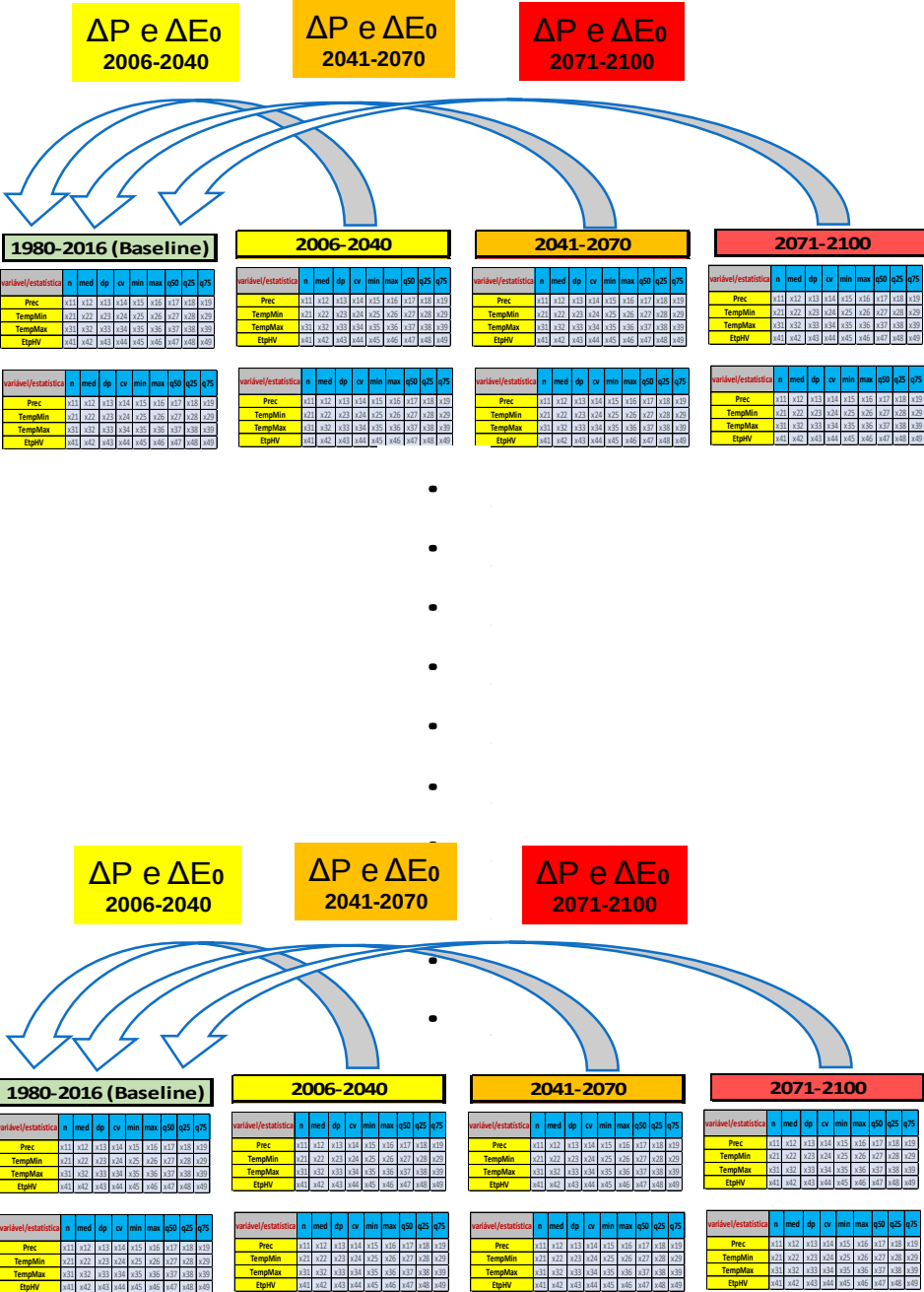
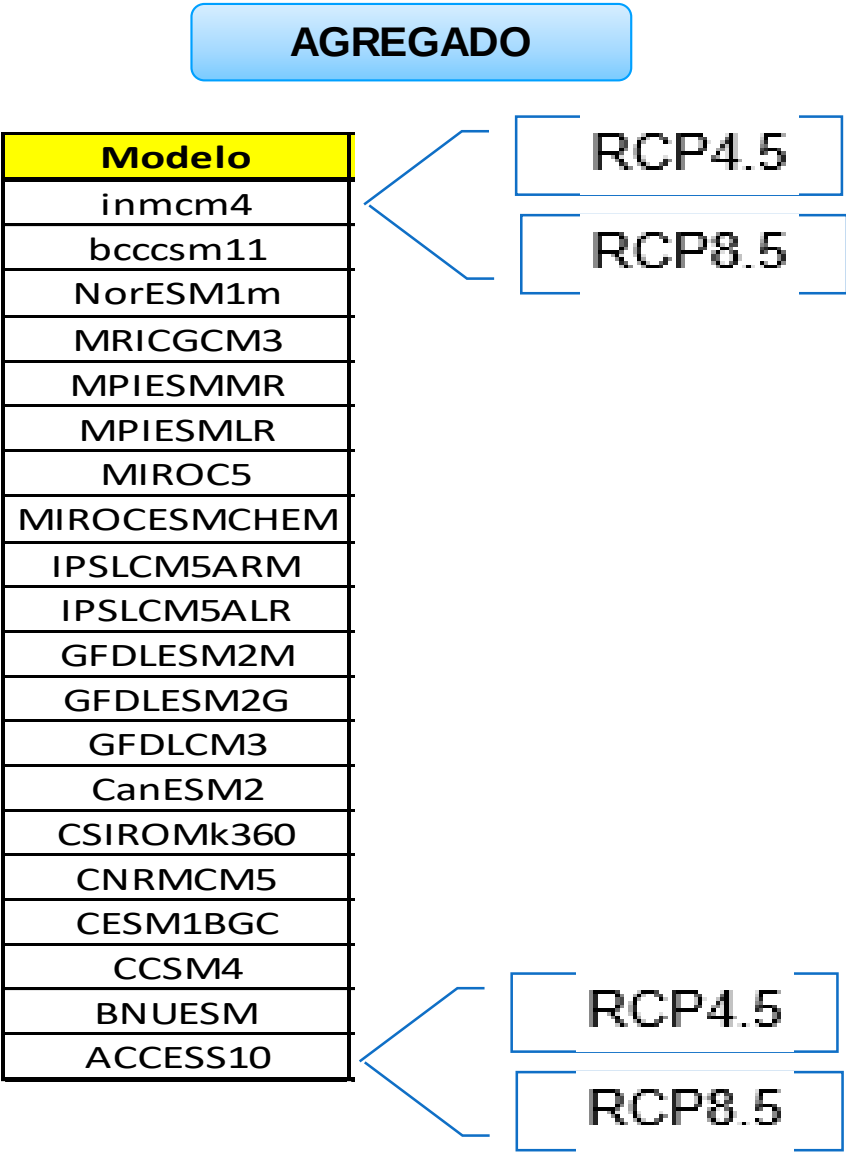
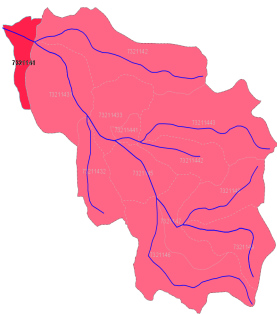
2041-2070

2071-2100

METODOLOGIA – Variação de P e Eo

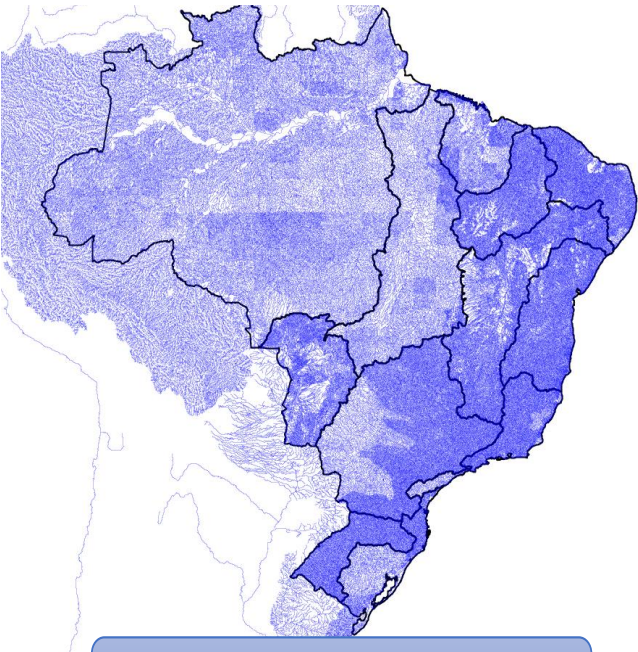
ATIVIDADE 5.1
AVALIAÇÃO/
SELEÇÃO/ANALISE
MODELOS
CLIMÁTICOS

PARA CADA
OTTOBACIA i



METODOLOGIA – Modelagem Hidrológica – Regionalizar o w (parâmetro Budyko)

Base da Qmlt na BHO



462883 Trechos de Rio da BHO

OTTOBACIA 1
OTTOBACIA 2
OTTOBACIA 3
OTTOBACIA 4
OTTOBACIA 5
OTTOBACIA 6
.
.
.
.
.
.
.
OTTOBACIA 462882
OTTOBACIA 462883

Qmlt_bho → ω → $\frac{\partial Q}{\partial P} = \left[1 + \left(\frac{E_0}{P} \right)^\alpha \right]^{-(1/\alpha-1)}$ → $\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0 :$

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Qmlt_bho → ω → $\frac{\partial Q}{\partial P} = \left[1 + \left(\frac{E_0}{P} \right)^\alpha \right]^{-(1/\alpha-1)}$ → $\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0 :$

$\frac{\partial Q}{\partial E_0} = \left[1 + \left(\frac{P}{E_0} \right)^\alpha \right]^{-(1/\alpha-1)} - 1$

Para todas as 462883 ottobacia passaremos a ter a expressão: $\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$

METODOLOGIA – Definição da disponibilidade hídrica

AGREGADO

Modelo
inmcm4
bccsm11
NorESM1m
MRICGCM3
MPIESMMR
MPIESMLR
MIROC5
MIROCESM2CHEM
IPSLCM5ARM
IPSLCM5ALR
GFDLES2M2M
GFDLES2M2G
GFDLCM3
CanESM2
CSIROMk360
CNRMCM5
CESM1BGC
CCSM4
BNUESM
ACCESS10

RCP4.5

RCP8.5

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

RCP4.5

RCP8.5

ΔP e ΔE_0
2006-2040

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2041-2070

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2071-2100

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2006-2040

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2041-2070

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2071-2100

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2006-2040

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2041-2070

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2071-2100

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2006-2040

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2041-2070

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ΔP e ΔE_0
2071-2100

$$\Delta Q_{climate} = \partial Q / \partial P \cdot \Delta P + \partial Q / \partial E_0 \cdot \Delta E_0$$

$$Q_{95} = f(Q_{mlt})$$

ATIVIDADE 5.2
APLICAR BUDYKO E
OBTENIR VARIAÇÃO
DA Q_{mlt} DO
FUTURO

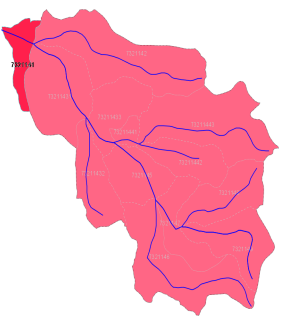
ATIVIDADE 5.3
OBTENIR AS Q_{ref} DO
FUTURO A PARTIR
DAS Q_{mlt} s

BALANÇO HÍDRICO

ATIVIDADE 5.4
ANÁLISE CRÍTICAS
DOS RESULTADOS
DAS Q_{ref} s DO
FUTURO

ATIVIDADE 5.5
RELATÓRIO FINAL E
PRODUTOS

PARA CADA
OTTOBACIA i



FERRAMENTA COMPUTACIONAL



PRIMEIROS RESULTADOS – ATLAS DE IRRIGAÇÃO



Anomalias de evapotranspiração potencial e precipitação nos cenários - 2040

Evapotranspiração potencial



Crítico (BCCSM11-RCP8.5)



Intermediário (CCSM4-RCP8.5)

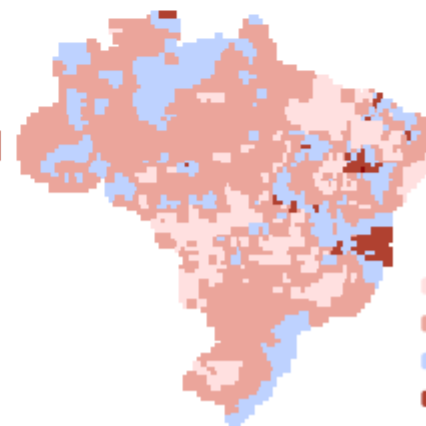
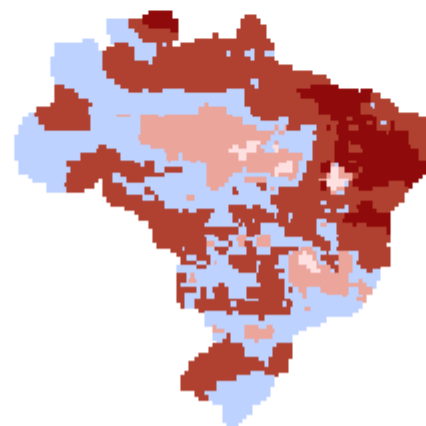
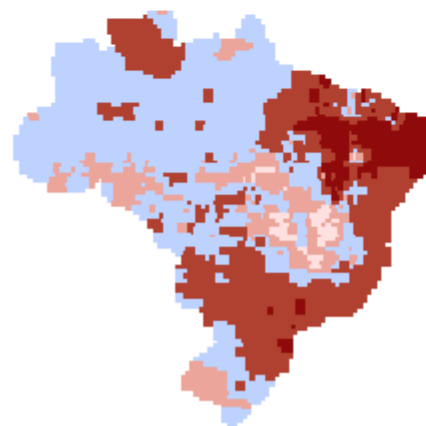


Otimista (CNRMCM5-RCP4.5)

Anomalia ETO

- 4% a +1%
- +1% a +3%
- +3% a +5%
- +5% a +10%
- > +10%

Precipitação



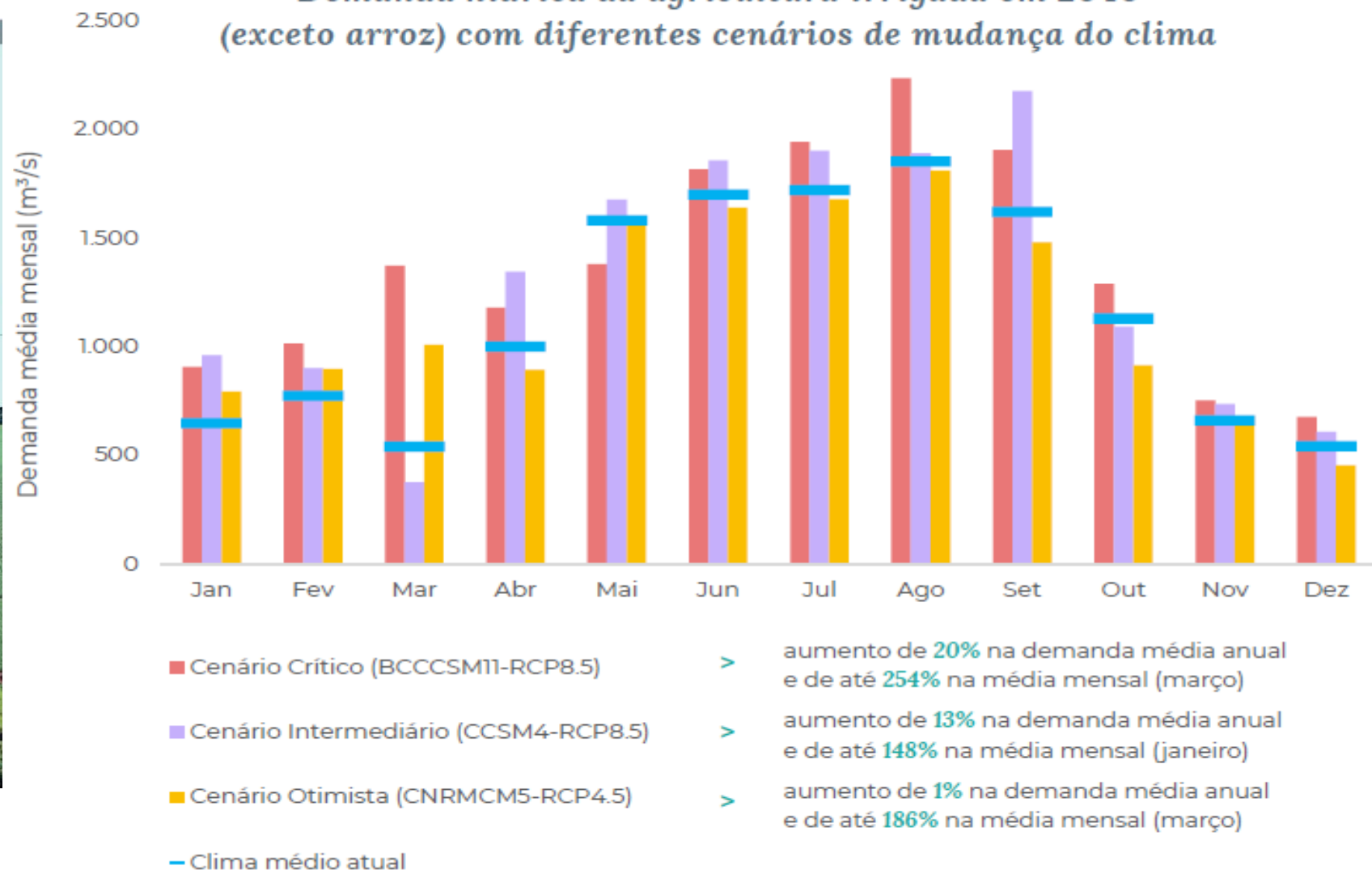
Anomalia P

- > +20%
- +5% a +20%
- +5% a -5%
- 5% a -20%
- < -20%

PRIMEIROS RESULTADOS – ATLAS DE IRRIGAÇÃO

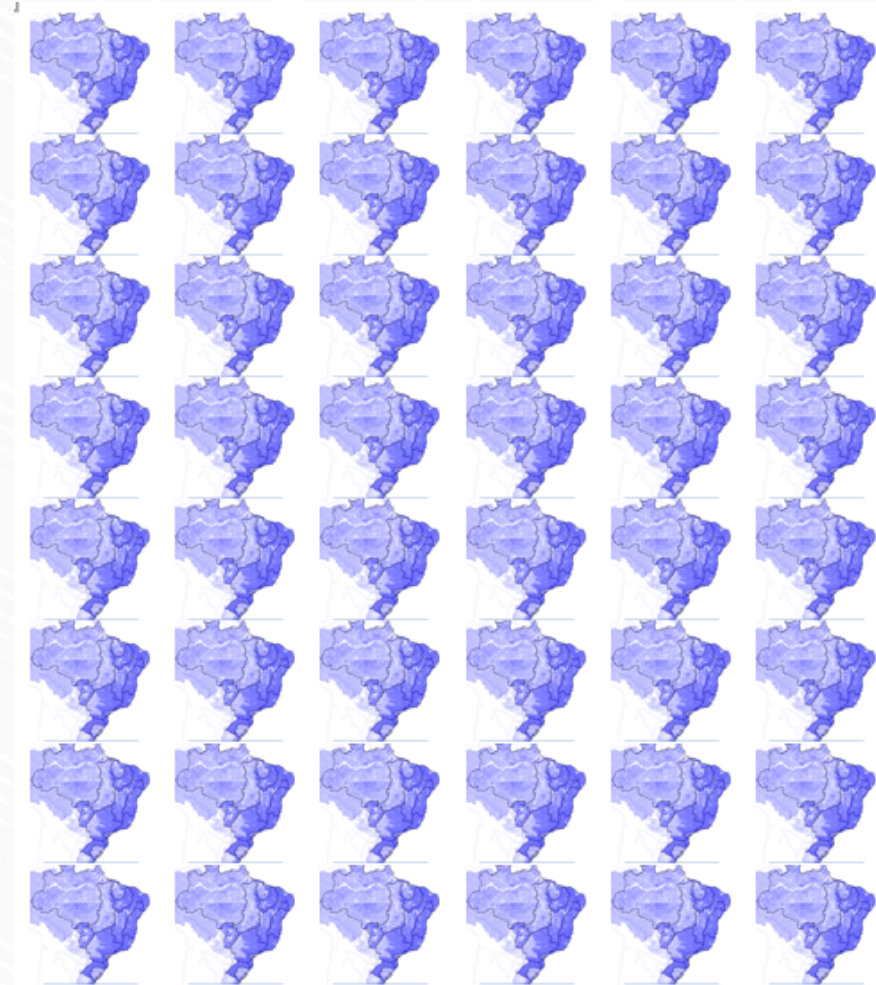
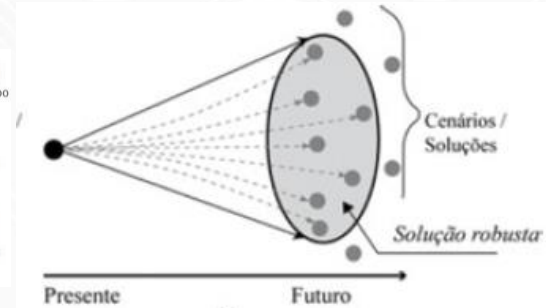
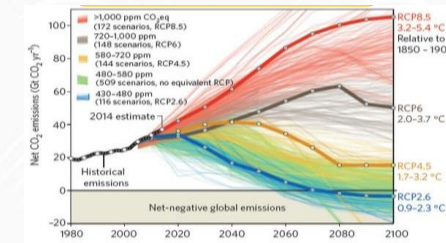


*Demanda hídrica da agricultura irrigada em 2040
(exceto arroz) com diferentes cenários de mudança do clima*



RESULTADOS

- **48** (24 MCGs x 2 cenários de emissão) cenários de Mudanças Climáticas na **Oferta Hídrica**
- Avaliação do **Balanço Hídrico**



#AÁguaÉUmaSó

Obrigado!

até a próxima.