



# I Seminário Nacional

## Sustentabilidade em Recursos Hídricos

## **Gestão e Segurança Hídrica: Abordagem local**

Prof. Edson de Oliveira Vieira  
Instituto de Ciências Agrárias/UFMG

é uma atividade analítica e criativa



formulação de princípios e diretrizes



- documentos orientadores e normativos,
- estruturação de sistemas gerenciais e
- tomada de decisões



promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos de forma sustentável

## Gestão de Recursos Hídricos

ONU (2013)

existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento:

- às necessidades humanas,
- à prática das atividades econômicas, e;
- à conservação dos ecossistemas aquáticos,

## Segurança Hídrica

ONU (2013)

acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país.

## Segurança Hídrica

# Dimensões da Segurança Hídrica





# Plano Nacional de Segurança Hídrica

MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

 ANA  
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

 I Seminário Nacional  
Sustentabilidade em Recursos Hídricos

## Objetivo:

Estabelecer um planejamento integrado e consistente de infraestrutura hídrica com natureza estratégica e relevância regional, até o horizonte de 2035, para redução dos impactos de secas e cheias.

# Plano Nacional de Segurança Hídrica

- aumento populacional principalmente nas áreas urbanas, e;
- o crescimento econômico, que geram ampliação da demanda de água,
- mudanças climáticas e os seus efeitos nos eventos hidrológicos extremos.

## Desequilíbrio

## Oferta x Demanda



Esses fatores de **desequilíbrio de balanço hídrico**, associados à **ausência de planejamento** e ações institucionais coordenadas e de **investimentos em infraestrutura hídrica** e saneamento, desencadeiam cenários de **Insegurança Hídrica** e, no limite, a instalação de crises, tais como as que afetaram o Brasil nos últimos sete anos.

## Desequilíbrio

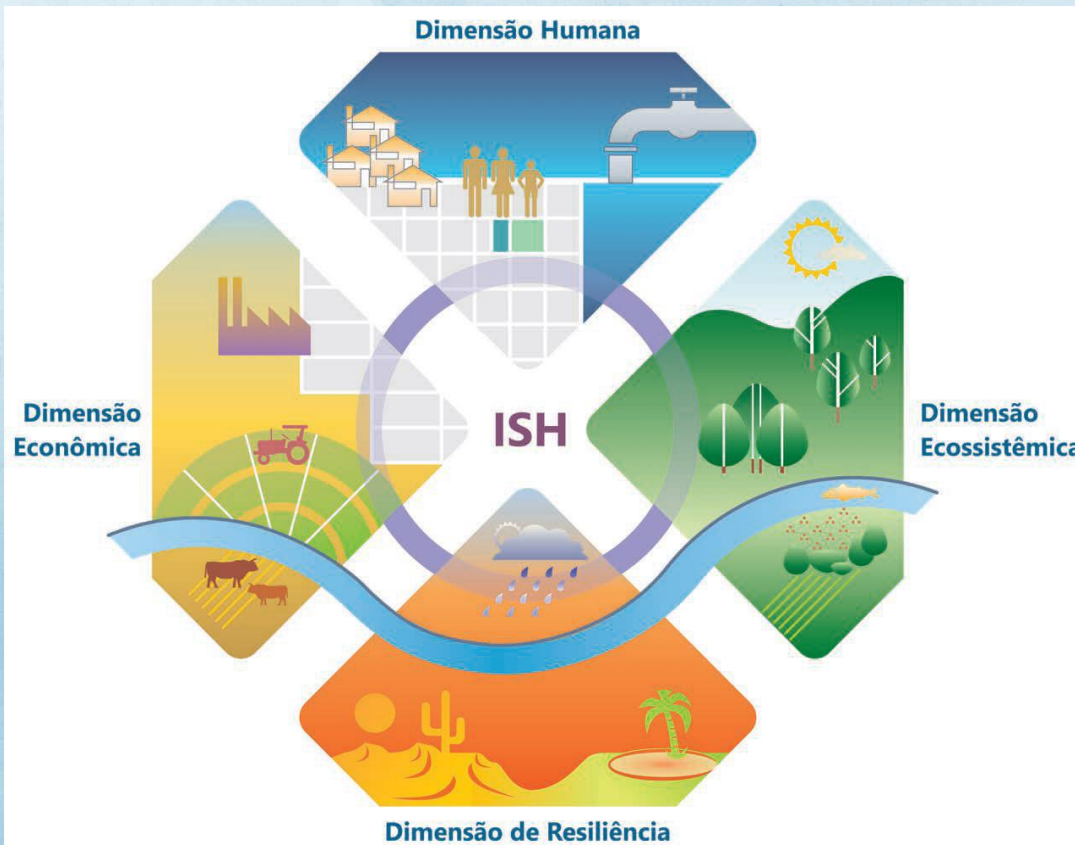
## Oferta x Demanda

Retratar as diferentes dimensões da segurança hídrica, incorporando o conceito de risco aos usos da água.

## Índice de Segurança Hídrica



# Índice de Segurança Hídrica



## Indicadores do ISH

### DIMENSÃO

### INDICADOR

Humana

Garantia de água para abastecimento humano

Econômica

Garantia de água para irrigação e pecuária  
Garantia de água para atividade industrial

Ecossistêmica

Quantidade adequada de água para usos naturais  
Qualidade adequada da água para usos naturais  
Segurança das barragens de rejeito de mineração

Resiliência

Reservação artificial  
Reservação natural  
Potencial de armazenamento subterrâneo  
Variabilidade pluviométrica

# Índice de Segurança Hídrica

# Abordagem local: Índice de Sustentabilidade Hídrica

UF *m* G



UC DAVIS  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

 I Seminário Nacional  
Sustentabilidade em Recursos Hídricos

# Sustentabilidade dos Recursos Hídricos

- São aqueles concebidos e geridos de forma a manter sua integridade ecológica, ambiental e hidrológica (Loucks, 1997)

LOUCKS, D. P. Quantifying trends in system sustainability. Hydrology Science Journal. vol . 42,n.4, 1997, p. 513-530.

# Sustentabilidade dos Recursos Hídricos

UF *m* G



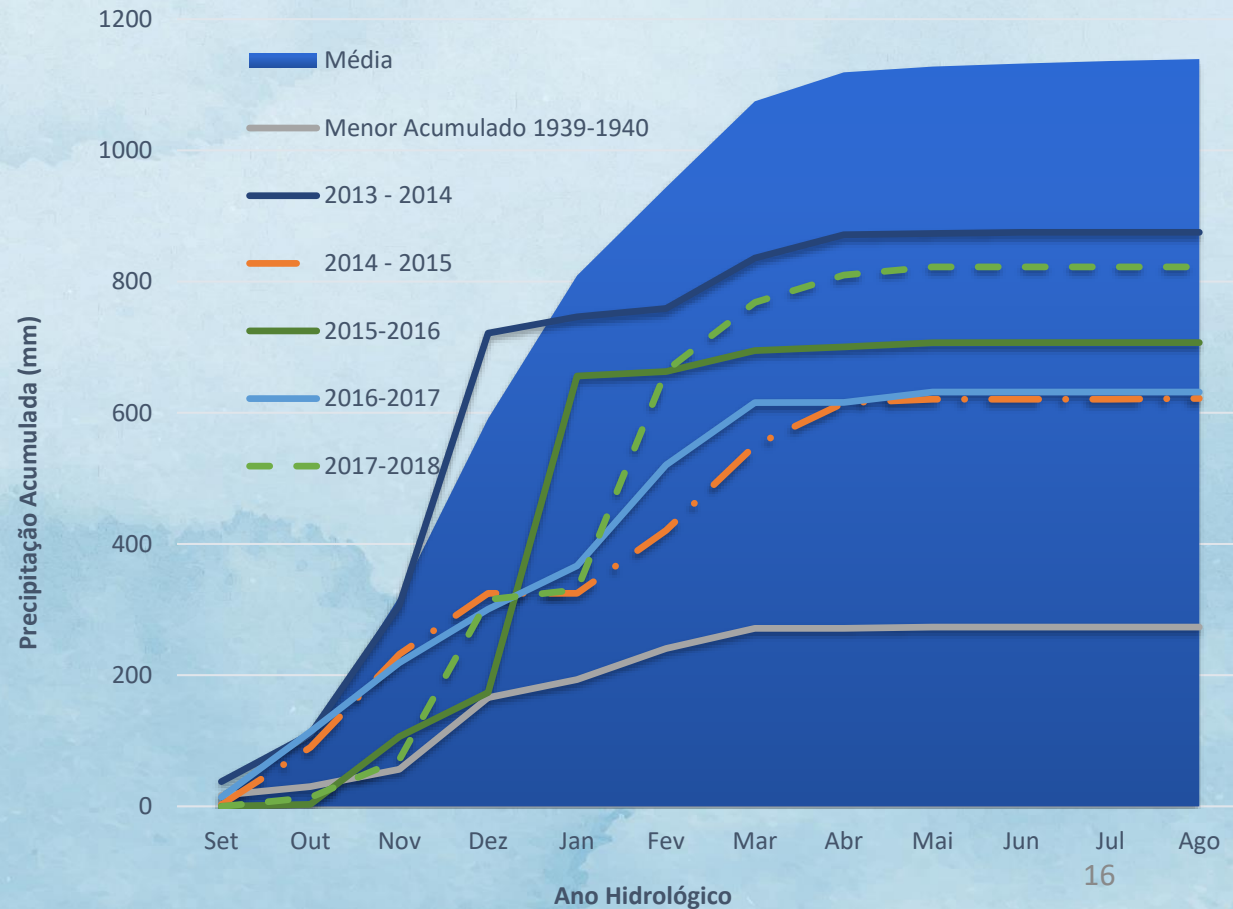
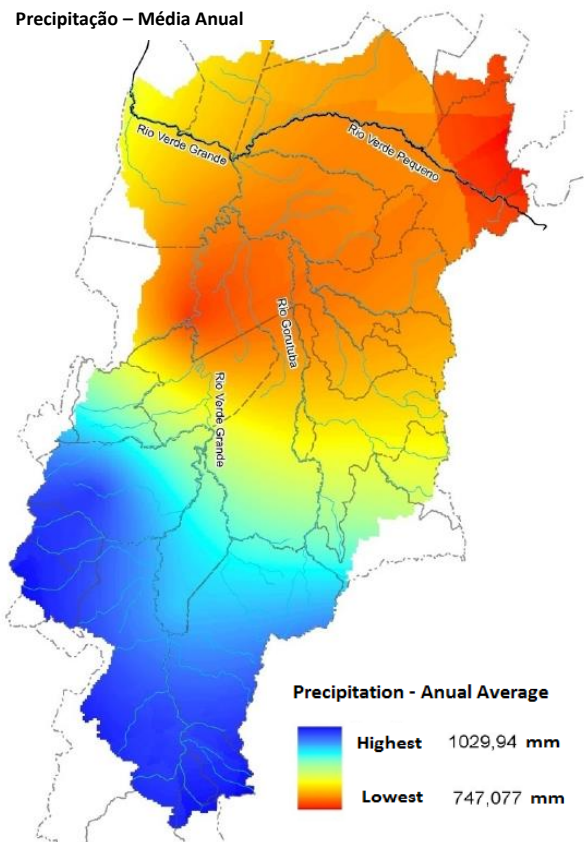
UC DAVIS  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

- O índice de sustentabilidade (Sustainability Index - SI) de recursos hídricos é um desses índices que possibilita avaliar e comparar diferentes métodos de gestão e usos de água
- SI leva em consideração medidas de Confiabilidade, Vulnerabilidade e Resiliência do sistema.

# Bacia

- Seca
- $ET_p \approx 2000$  mm/ano
- Precip  $\approx 830$  mm/ano

Precipitação – Média Anual





## Plano da Bacia

No Plano de Recursos Hídricos da bacia do Verde Grande foram previstos 3 cenários de implementação de ações:

- **Tendencial** – cenário considerado com as ações de incremento de água já em andamento
- **Normativo 1** – adução de água do rio São Francisco para a bacia do Rio Verde Grande em duas parte
- **Normativo 2** – aumento da oferta hídrica com a implementação da terceira adutora que deriva água do rio São Francisco e construção de barragens

Avaliar a gestão e a segurança hídrica na bacia do rio Verde Grande, Minas Gerais:

1. Avaliar e comparar a vulnerabilidade, confiabilidade e resiliência de ações de infraestrutura apresentadas no PRHVG considerando três cenários de disponibilidade hídrica;
2. Calcular o Índice de Sustentabilidade (SI) dos Recursos Hídricos na BHVG;

## Objetivos

## Metodologia

- **Caracterização da área de estudo**
  - VG é o maior tributário da margem direita do rio São Francisco
  - Parte de seu curso separa os estados da Bahia e Minas Gerais

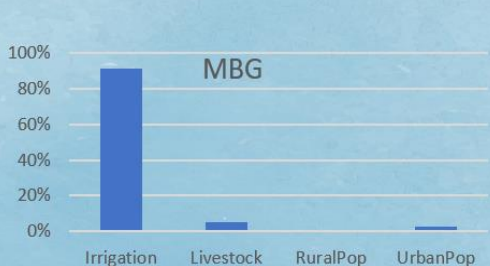
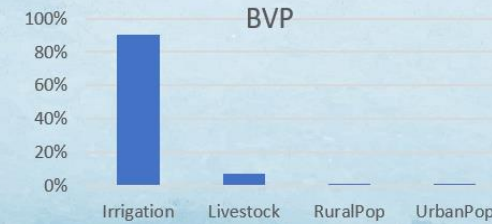
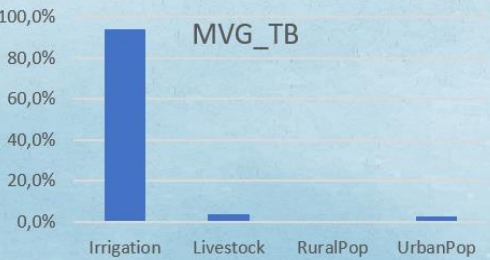
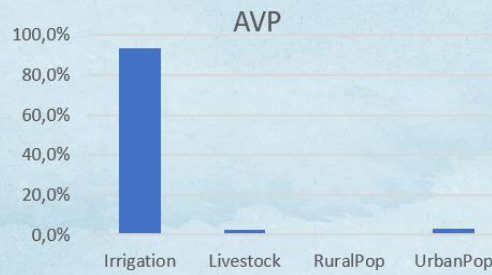
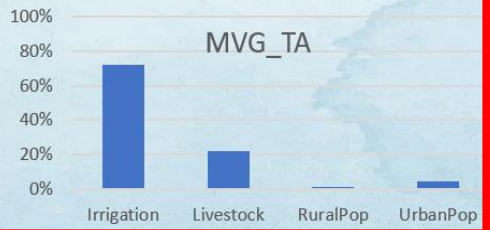
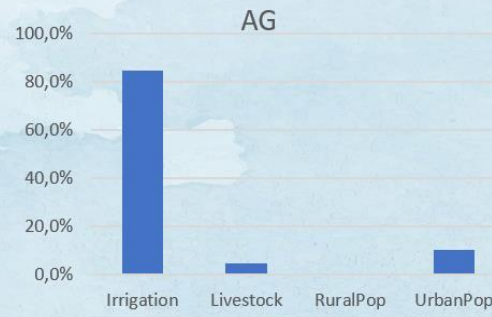
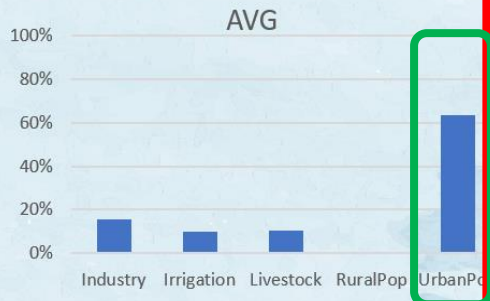


# Metodologia

- Caracterização da área de Estudo
  - Área = 31.410 km<sup>2</sup>
  - Curso Principal (VG) = 577 km
  - 800.000 Habitantes em 2018,
  - 8 Sub-bacias (Plano da Bacia)

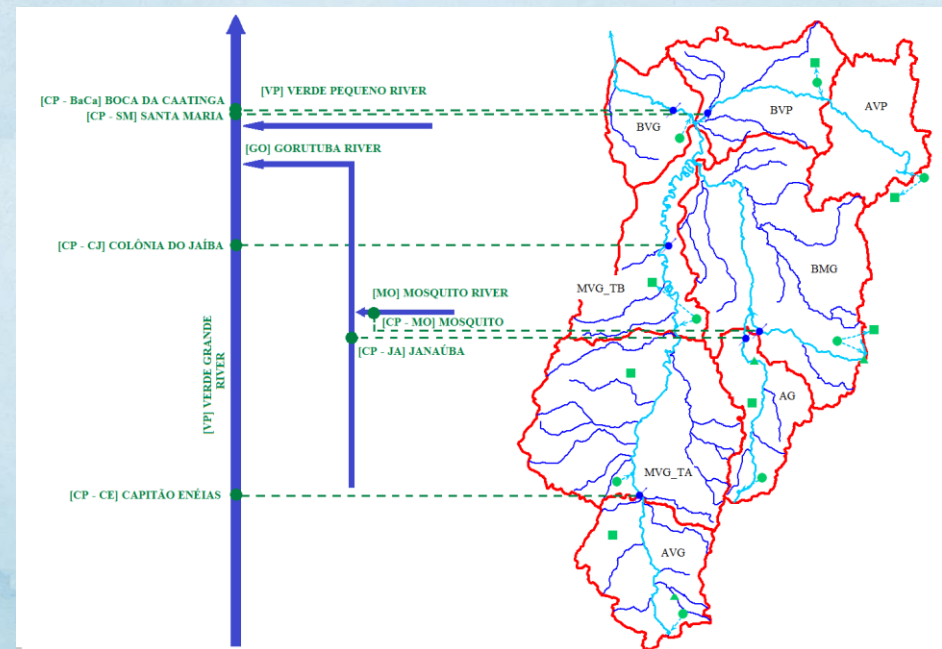


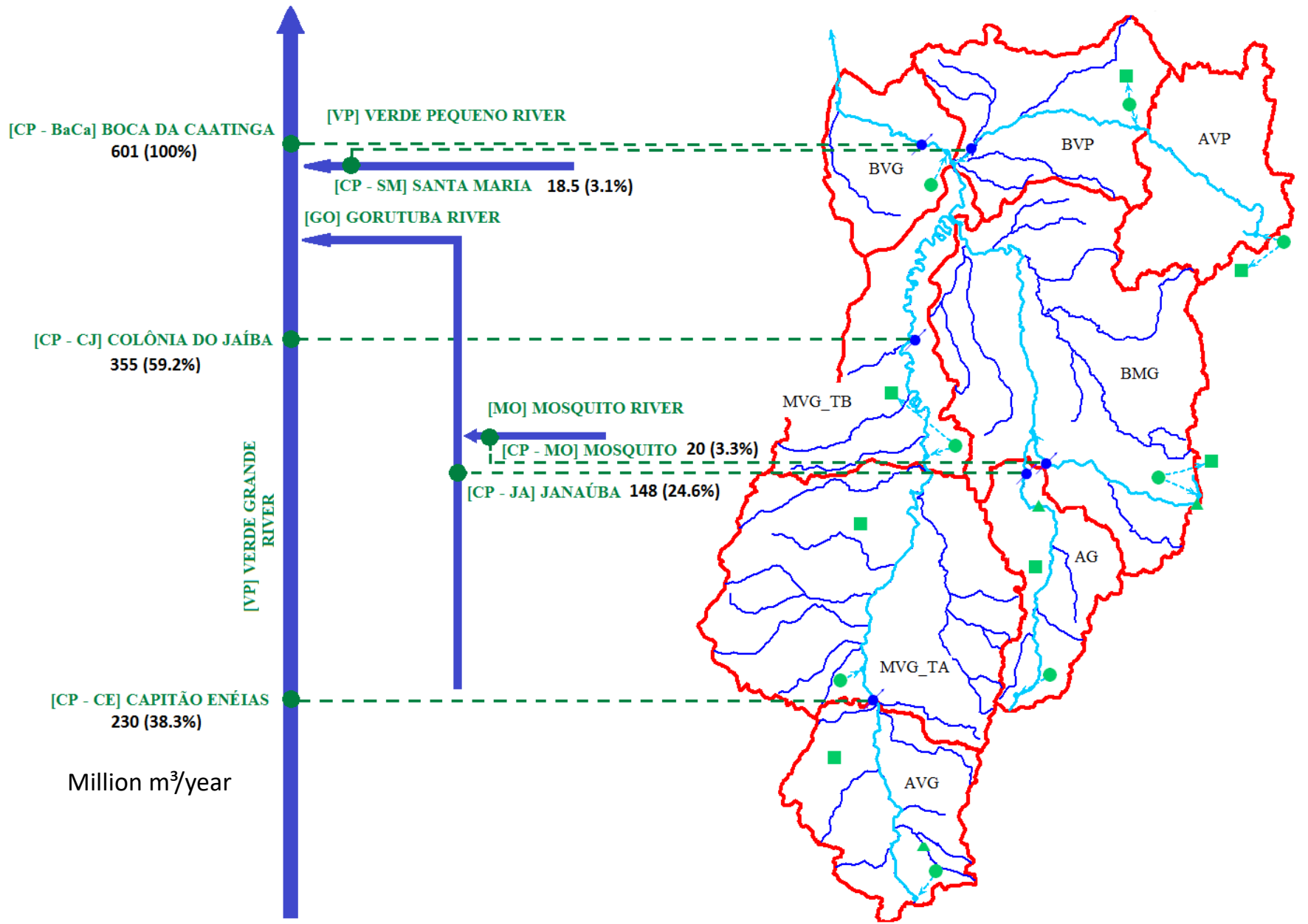
# Demanda de água por Sub-bacia



## Geografia do Modelo

- 6 Pontos de Controle
  - 3 no rio Verde Grande
  - 1 no rio Gorutuba
  - 1 no rio Mosquito
  - 1 no rio Verde Pequeno





# Indicadores de Performance

## Déficits

$$D_t^i = \begin{cases} X_{Demanda,t}^i - X_{Oferta,t}^i, & \text{If } X_{Demanda,t}^i > X_{Oferta,t}^i \\ 0, & \text{If } X_{Demanda,t}^i = X_{Oferta,t}^i \end{cases}$$

### I. Confiabilidade (Frequência do sucesso)

é a probabilidade de que o suprimento de água disponível atenda à demanda de água durante o período de simulação

$$Conf^i = \frac{\text{No. de vezes } D_t^i = 0}{n}$$

$D_t^i =$  Déficits

$X_{Demanda}^i =$  água demandada

$X_{Oferta}^i =$  água ofertada

$t =$  período de tempo

$i =$  usuário de água



# Indicadores de Performance

## Déficits

$$D_t^i = \begin{cases} X_{Demanda,t}^i - X_{Oferta,t}^i, & \text{If } X_{Demanda,t}^i > X_{Oferta,t}^i \\ 0, & \text{If } X_{Demanda,t}^i = X_{Oferta,t}^i \end{cases}$$

### 1. Confiabilidade (Frequência do sucesso)

$$Conf^i = \frac{\text{No. de vezes } D_t^i = 0}{n}$$

### 2. Resiliência (Rapidez na recuperação)

$$Res^i = \frac{\text{No. vezes } D_t^i = 0 \text{ seguidos } D_t^i > 0}{\text{No. vezes } D_t^i > 0 \text{ ocorridos}}$$

é uma capacidade do sistema para se adaptar às condições variáveis ou é a probabilidade de um sistema se recuperar do período de falha

$D_t^i =$  Déficit

$X_{Demanda}^i =$  água demandada

$X_{Oferta}^i =$  água ofertada

$t =$  período de tempo

$i =$  usuário de água

# Indicadores de Performance

## 3. Vulnerabilidade (Severidade do déficit)

$$Vul^i = \frac{\left( \frac{\sum_{t=0}^{t=n} D_t^i}{\text{No. de vezes } D_t^i > 0 \text{ ocorridos}} \right)}{X_{\text{Demanda}}^i}$$

## 4. Máximo Deficit

$$Max Def^i = \frac{\max(D_{\text{anual}}^i)}{Demanda^i}$$

$D_t^i$  = Déficits

$X_{\text{Demanda}}^i$  = água demandada

$X_{\text{Oferta}}^i$  = água ofertada

$t$  = período de tempo

$i$  = usuário de água

## Índice de Sustentabilidade

- Sustainability Index (SI) proposto por Sandoval-Solis *et al.* (2011) variação de Loucks' SI (Loucks 1997)

$$SI^i = \left[ \prod_{m=1}^M C_m^i \right]^{\frac{1}{M}}$$

$$SI^i = [Conf^i * Res^i * (1 - Vul^i) * (1 - Max Def^i)]^{1/4}$$

- Valores variam de 0 – 1
- Existe um peso implícito devido ao índice dado para o indicador de pior performance

$C_m^i$  = Indicador de Performance

$M$  = No. de indicadores de Performance

# WEAP Software

- Dados de Entrada:
  - Uso de Solo
    - Informações de cobert. solo
  - Clima
    - Precipitação
    - Temperatura
    - Umidade Relativa
    - Velocidade do Vento
  - Escoamento
  - Dados de Reservatórios

Starting WEAP...

The logo for WEAP (Water Evaluation And Planning System) features the letters W, E, A, and P. The 'W' is blue with a water ripple effect. The 'E' is green with a field background. The 'A' is white with a person watering plants. The 'P' is blue with a city skyline.

Water Evaluation And Planning System

Licensed to: Edson Vieira, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil, until March 11, 2011

Copyright (c) 1990-2013, Stockholm Environment Institute

## WEAP Software

- Dados de demanda:  
(Usuários de água)
  - População Urbana
  - População Rural
  - Pecuária
  - Irrigação
  - Indústria (AVG)

Starting WEAP...



Water Evaluation And Planning System

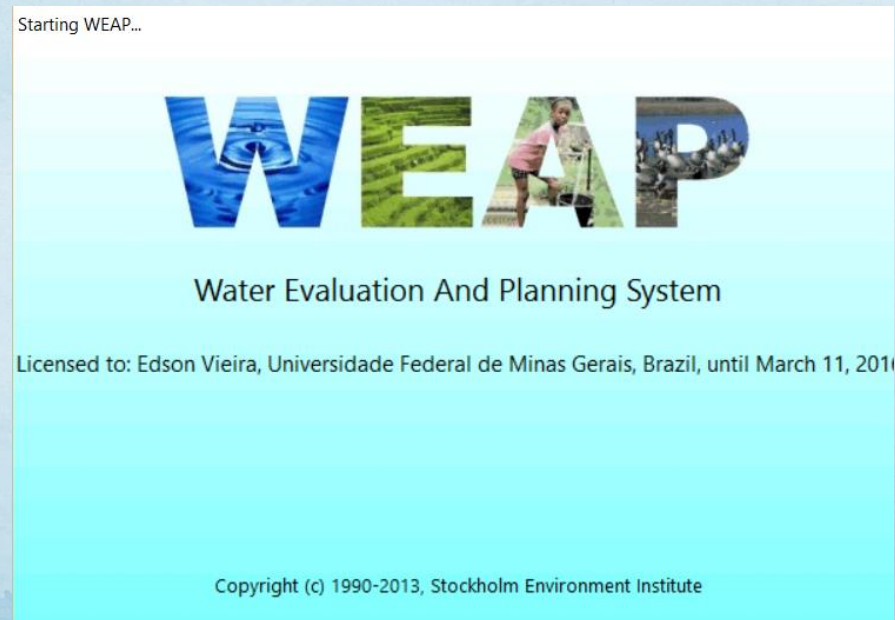
Licensed to: Edson Vieira, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil, until March 11, 2011

Copyright (c) 1990-2013, Stockholm Environment Institute

# WEAP Software

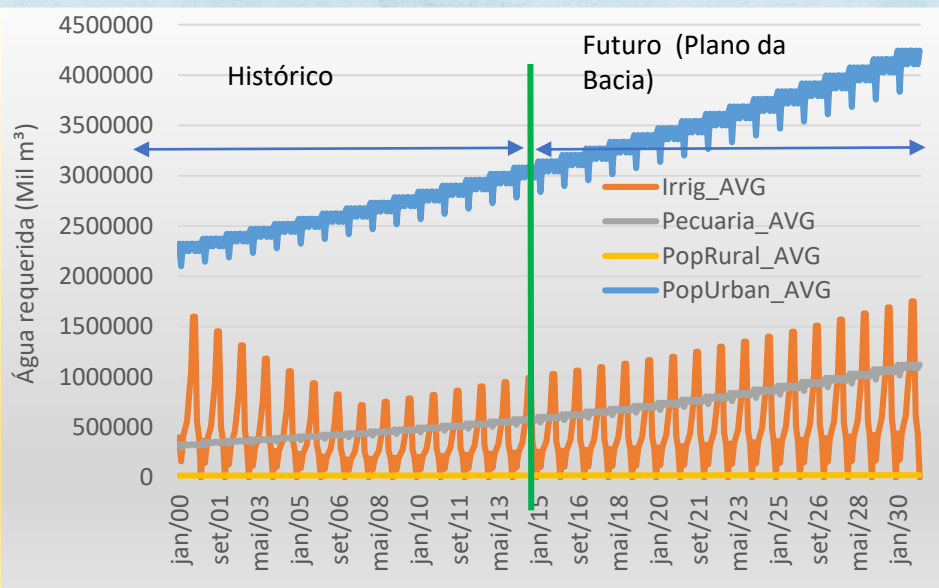


- Período de análise:
  - Time step - Mensal
  - 2000 – 2014 – Histórico (Calibração e Validação)
  - 2015 – 2030 – Cenários futuros

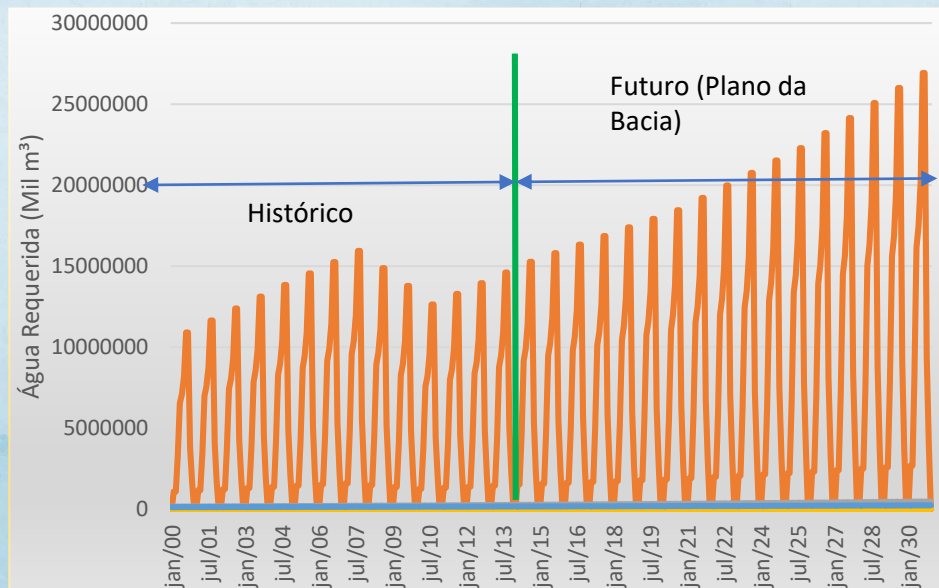


# Demanda de água previsto no Plano da bacia do Verde Grande

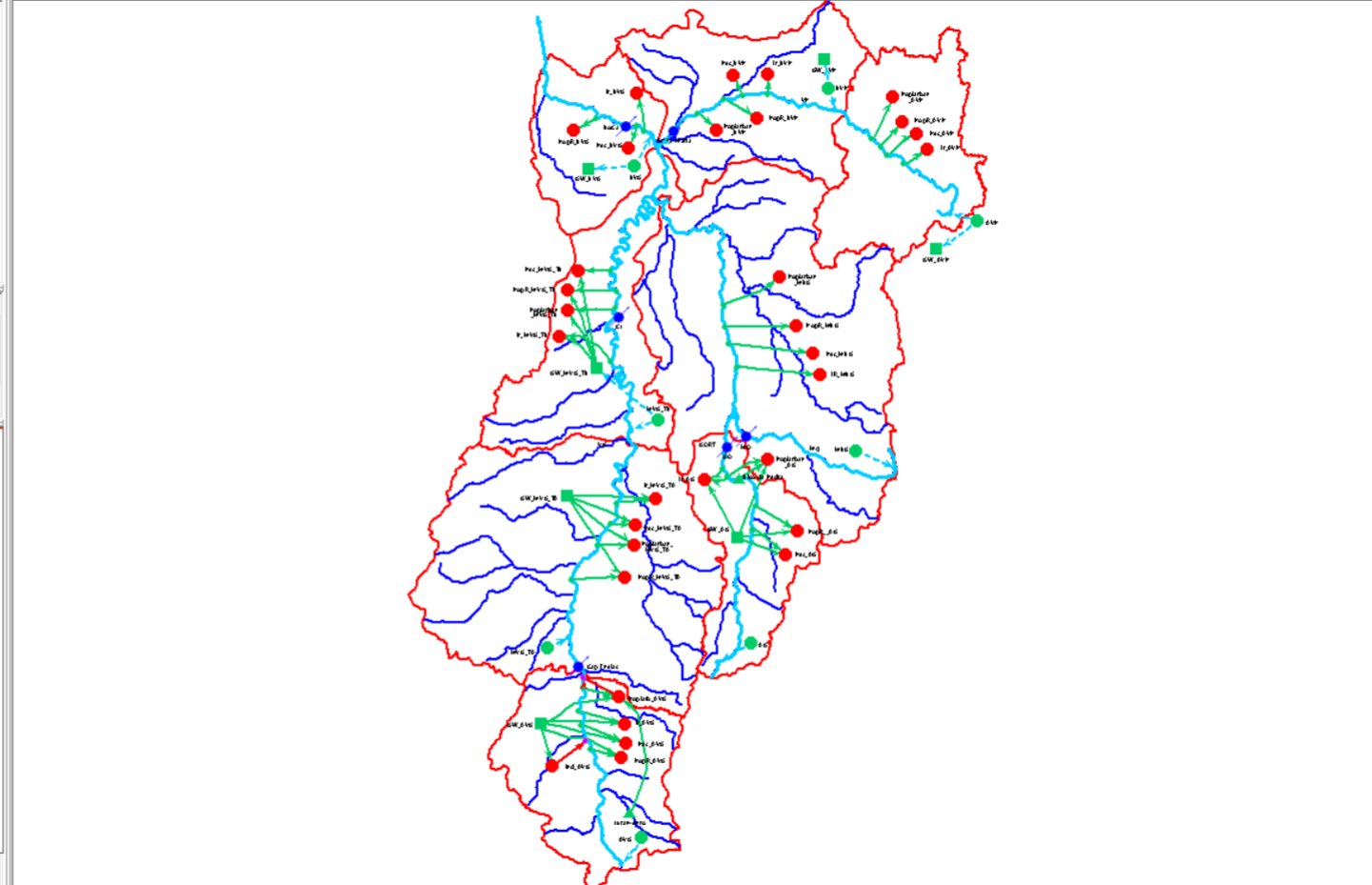
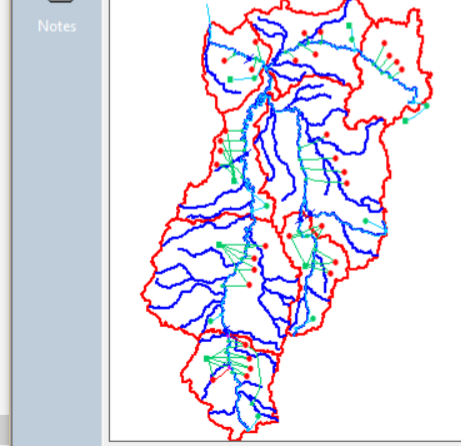
## Água Demandada - AVG



## Água Demandada – MVG\_TA



- River (4)
  - Diversion
  - Reservoir (2)
  - Groundwater (7)
  - Other Supply
  - Demand Site (32)
  - Catchment (8)
  - Runoff/Infiltration (12)
  - Transmission Link (51)
  - Wastewater Treatment Plant
  - Return Flow (2)
  - Run of River Hydro
  - Flow Requirement
  - Streamflow Gauge (6)
- 
- Hidrografia
  - limiteBacia
  - Major Rivers
  - Cities
  - States
  - Country





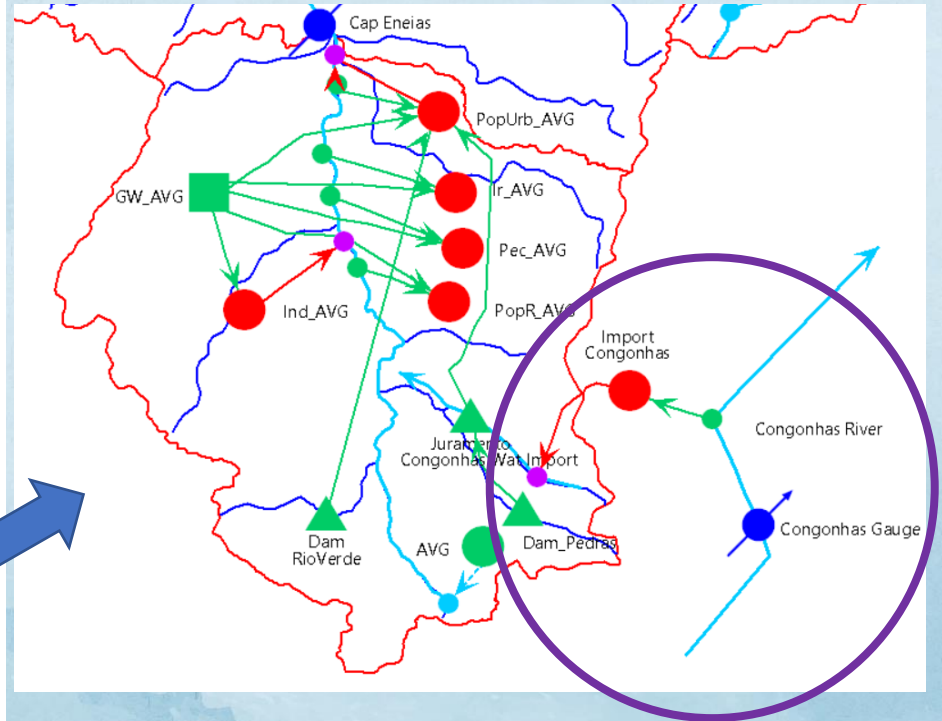
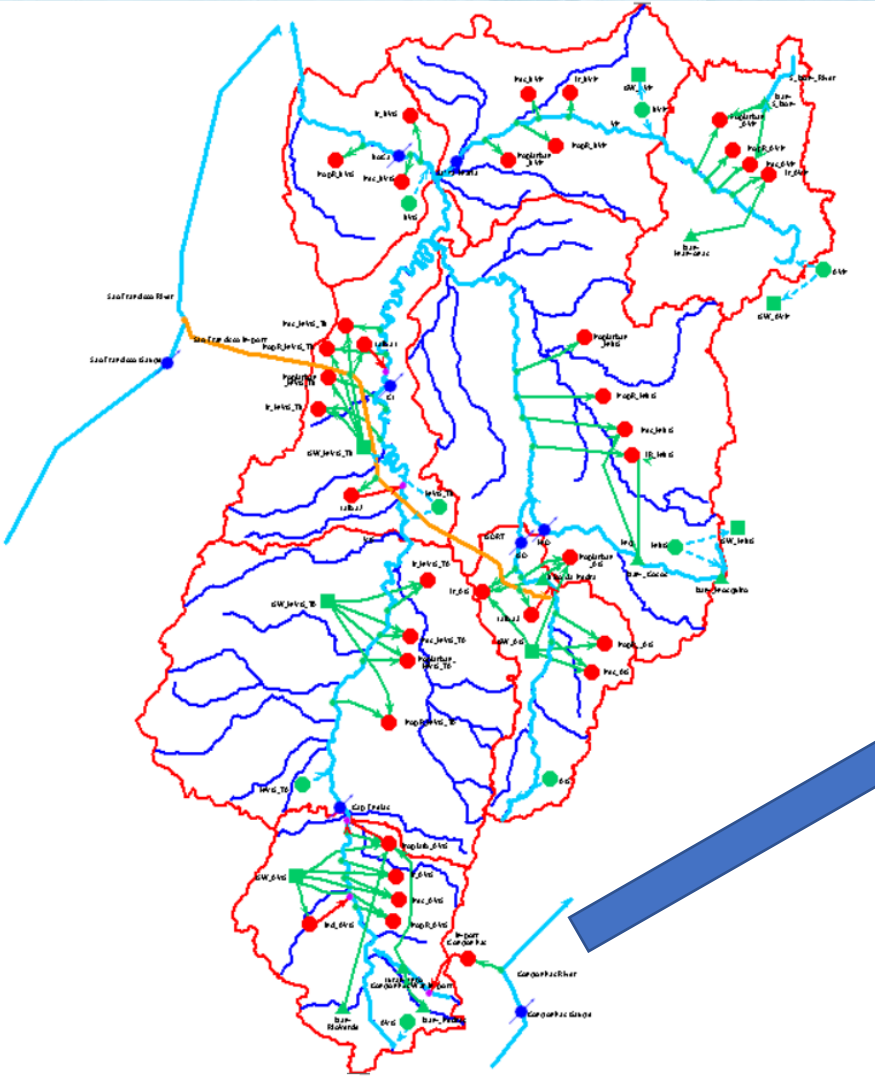
# Análises dos Cenários

- Referência (sem Ações)
- Tendencial
- Normativo 1
- Normativo 2

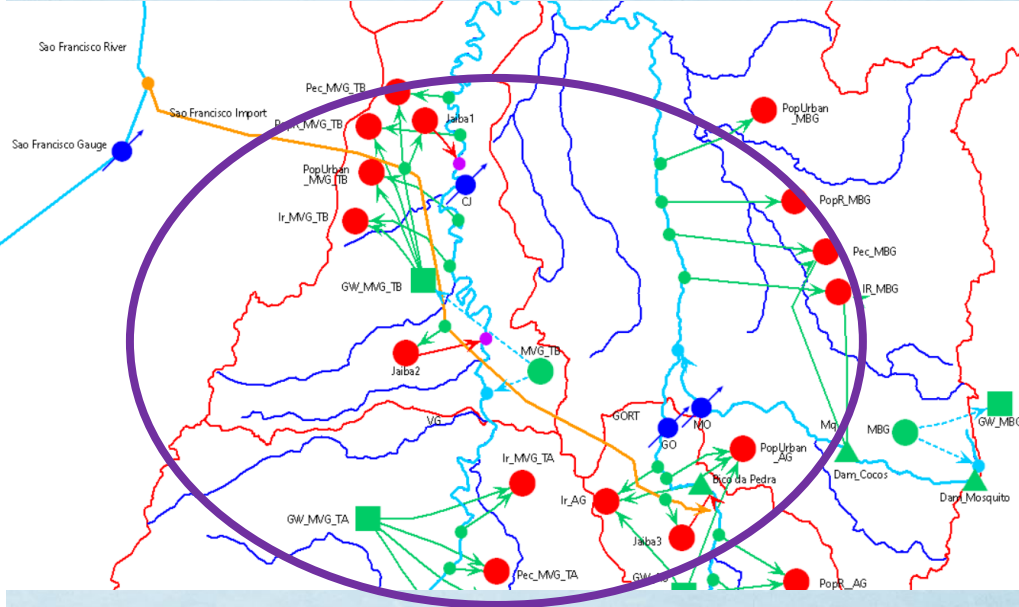
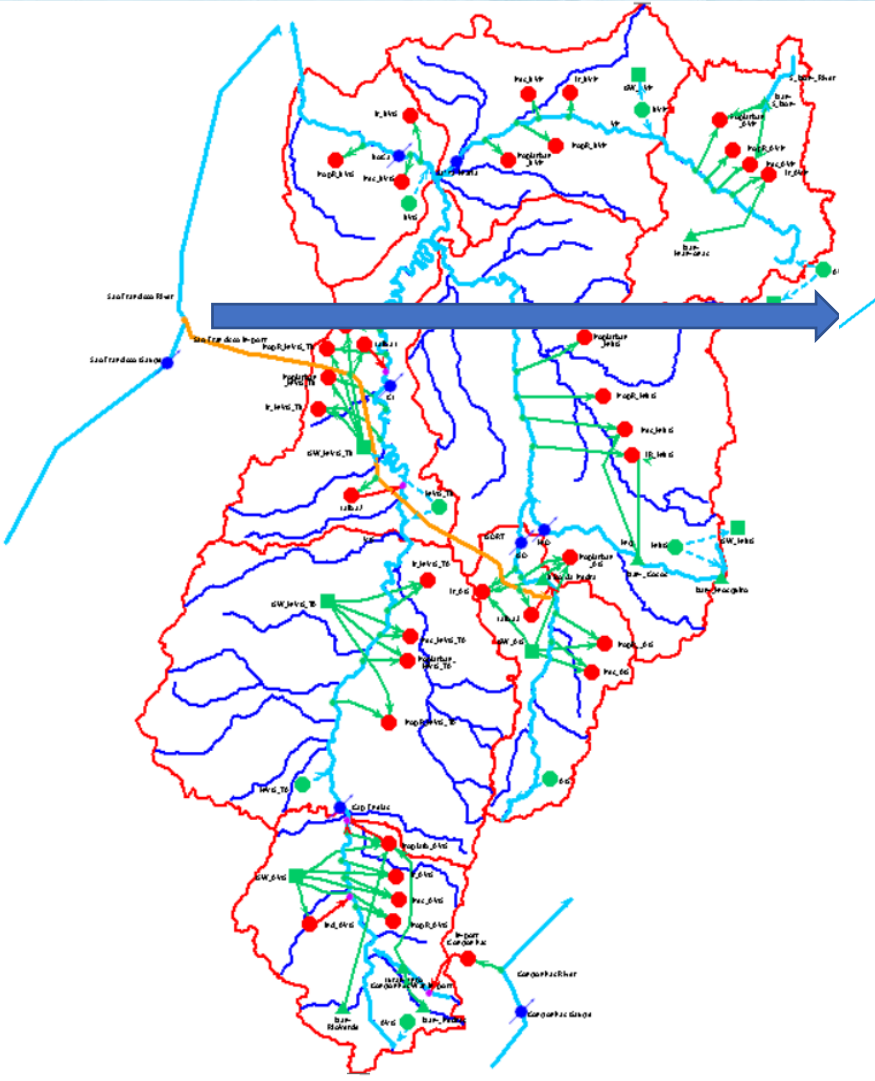
AÇÕES	Nº	Ano Início
Transposição do rio Congonhas 2m <sup>3</sup> /s	1	2018
Derivação de água do rio São Francisco 1.5m <sup>3</sup> /s	2	2020
Derivação de água do rio São Francisco 1.5 (3m <sup>3</sup> /s)	3	2025
Derivação de água do rio São Francisco 1.5 (4.5m <sup>3</sup> /s)	4	2028
Barragem Rio Verde 0.15m <sup>3</sup> /s	5	2025
Barragem Cocos 0.05m <sup>3</sup> /s	6	2025
Barragem Pedras 0.04m <sup>3</sup> /s	7	2028
Barragem Mamonas 0.05m <sup>3</sup> /s	8	2028
Barragem São Domingos 0.42m <sup>3</sup> /s	9	2028

CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1 - 6	1 - 6	1 - 6	1 - 9	1 - 9	1 - 9

## Derivação de água do Rio São Francisco



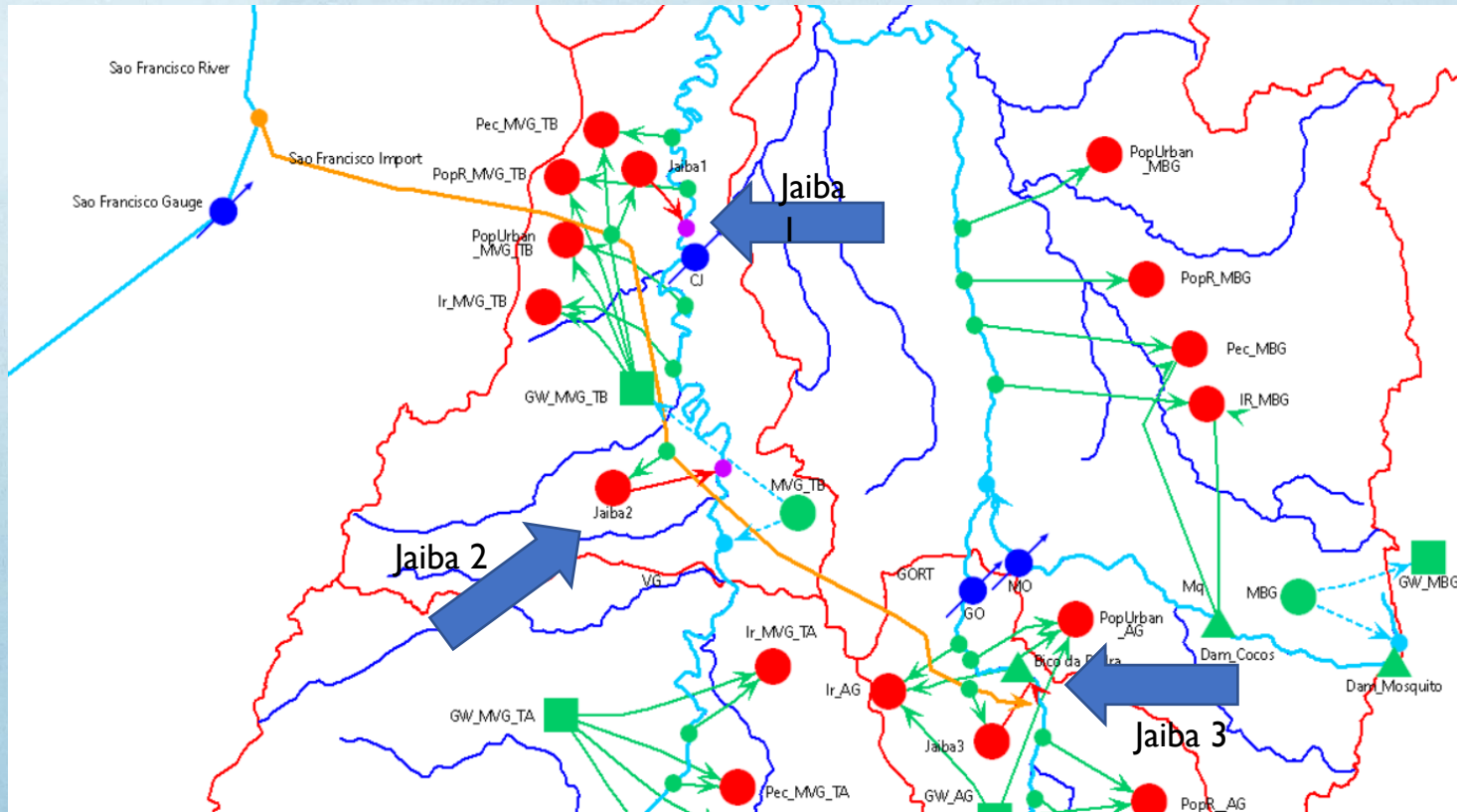
CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1-6	1-6	1-6	1-9	1-9	1-9



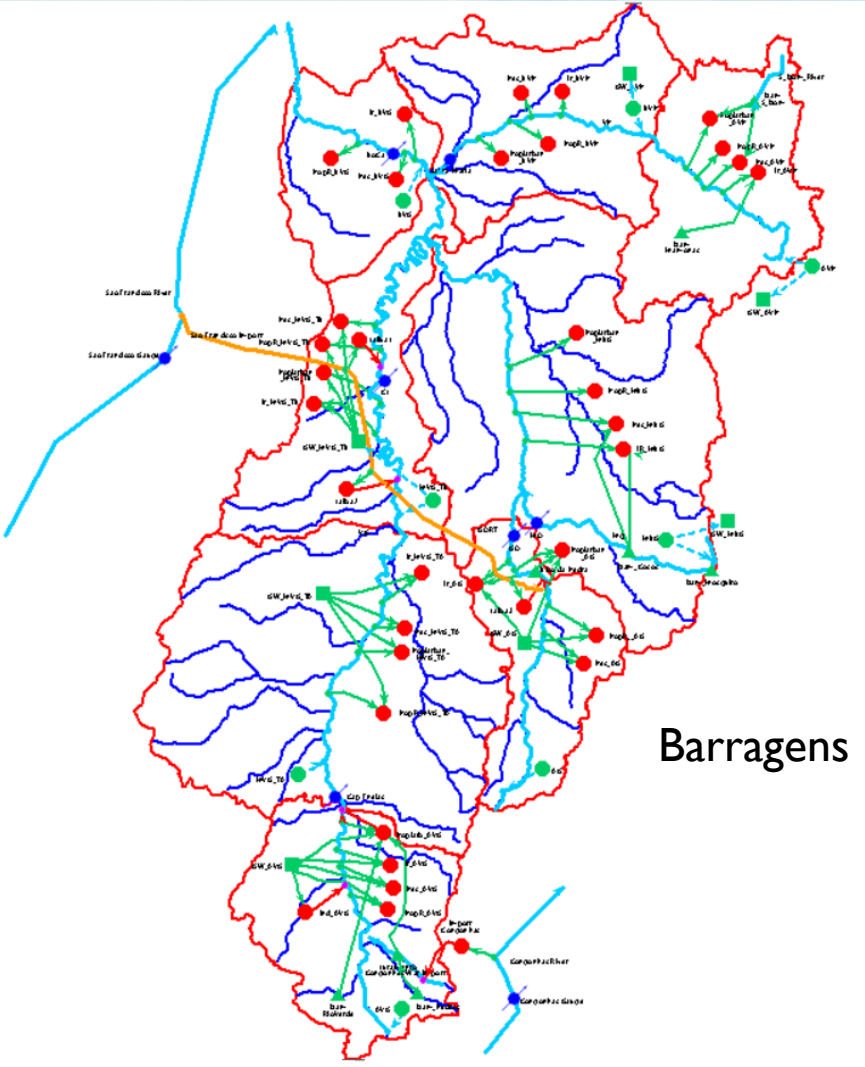
## Derivação de água do Rio São Francisco

CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1-6	1-6	1-6	1-9	1-9	1-9

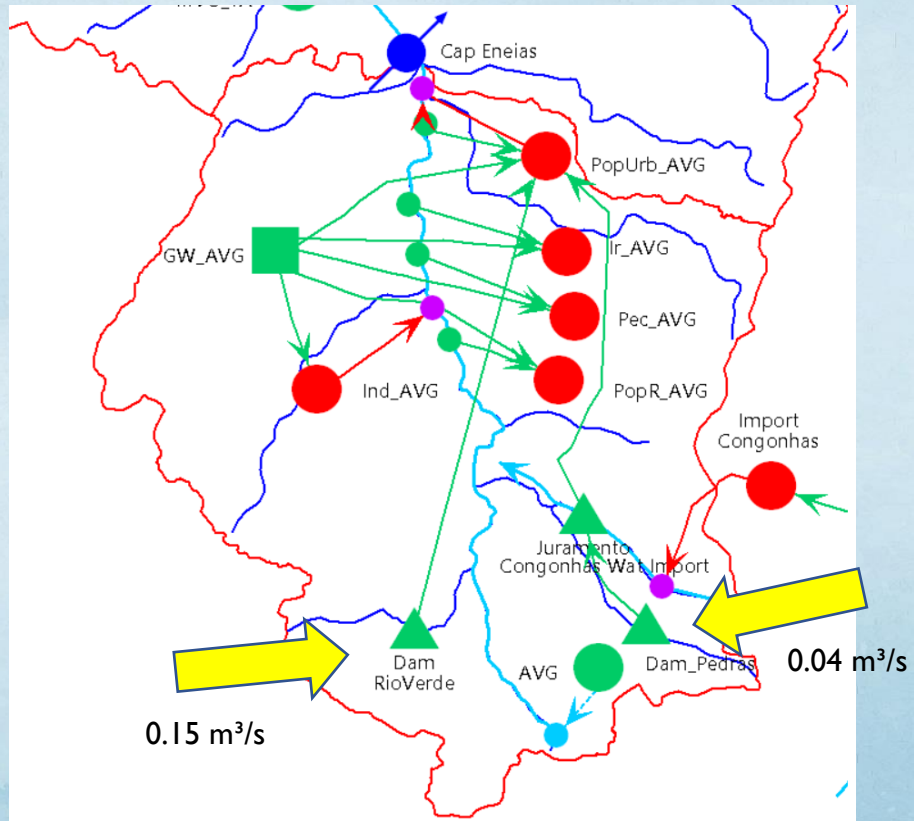
## Derivação de água do Rio São Francisco



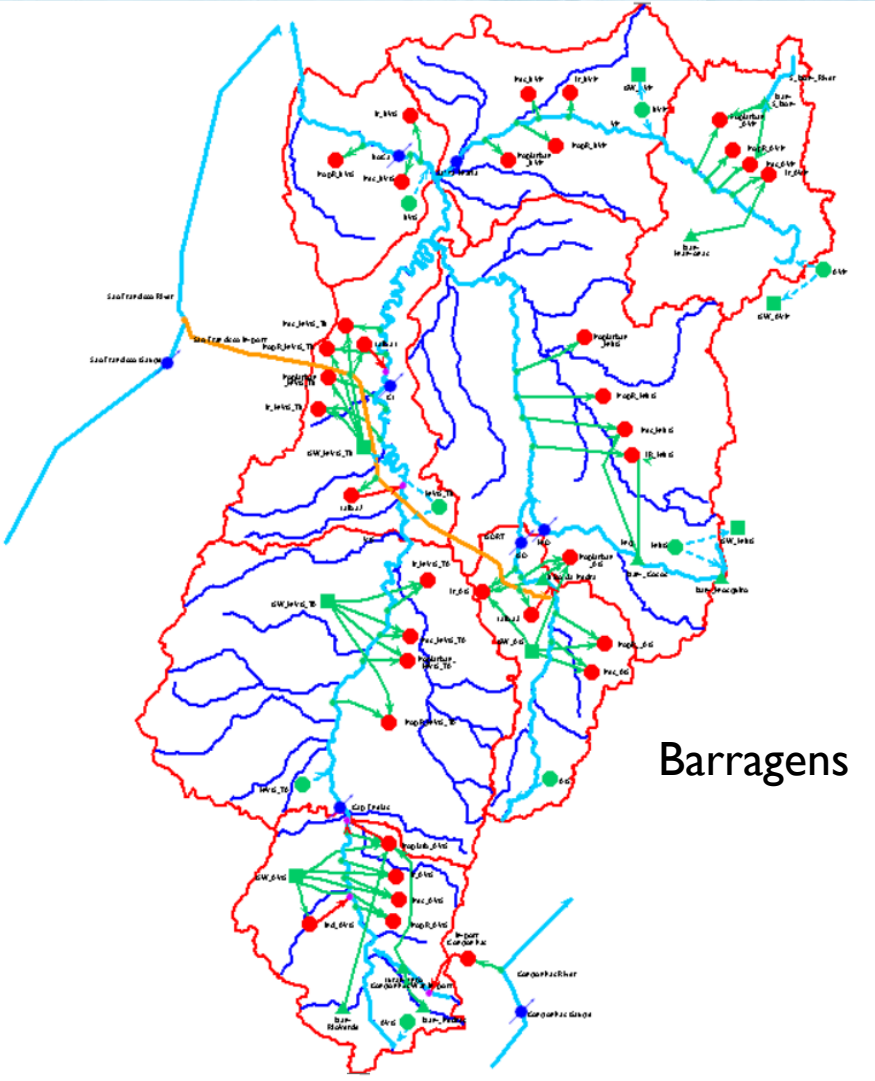
CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1-6	1-6	1-6	1-9	1-9	1-9



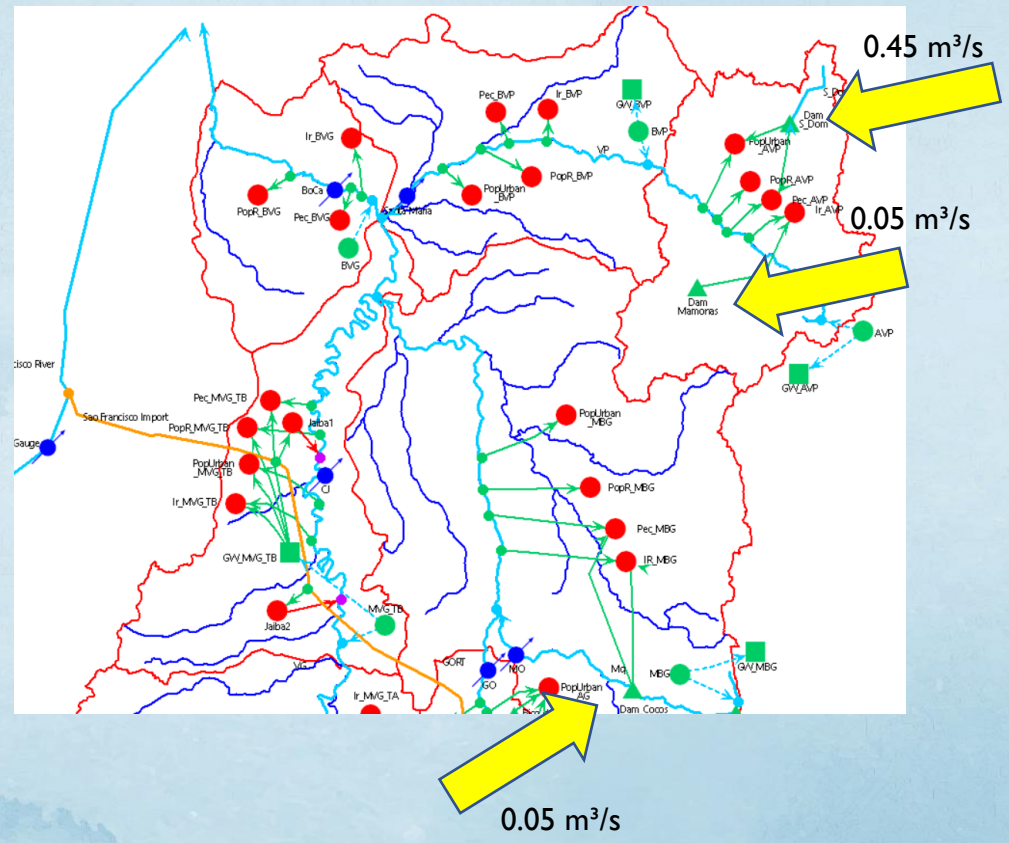
Barragens



CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1-6	1-6	1-6	1-9	1-9	1-9



Barragens

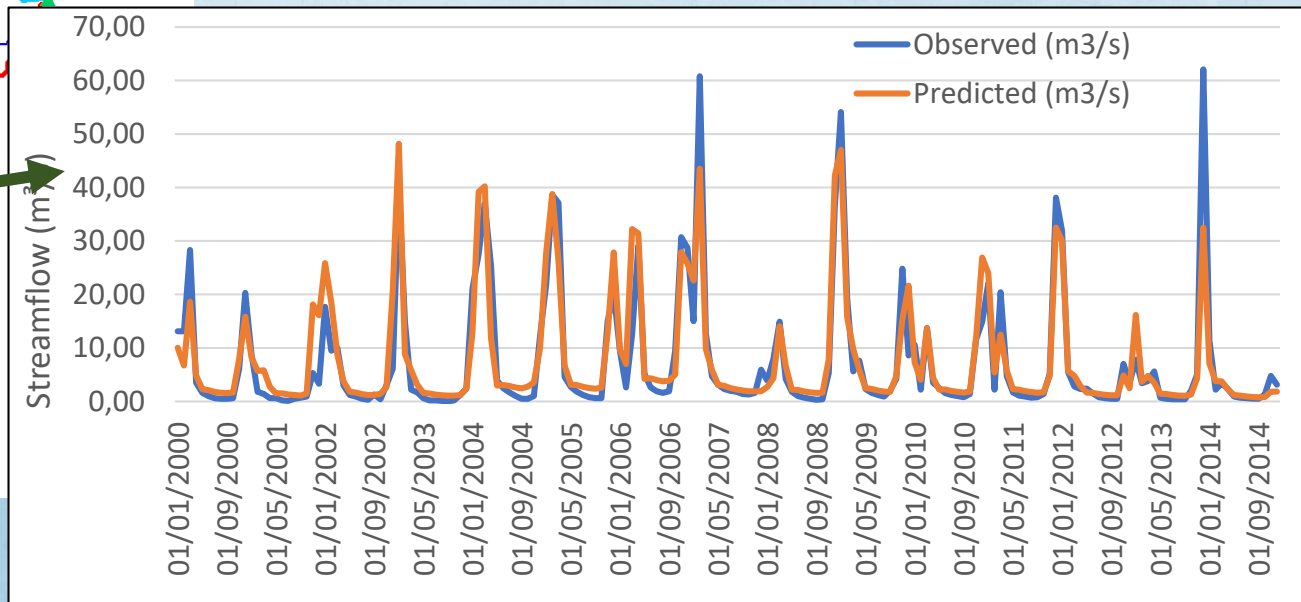
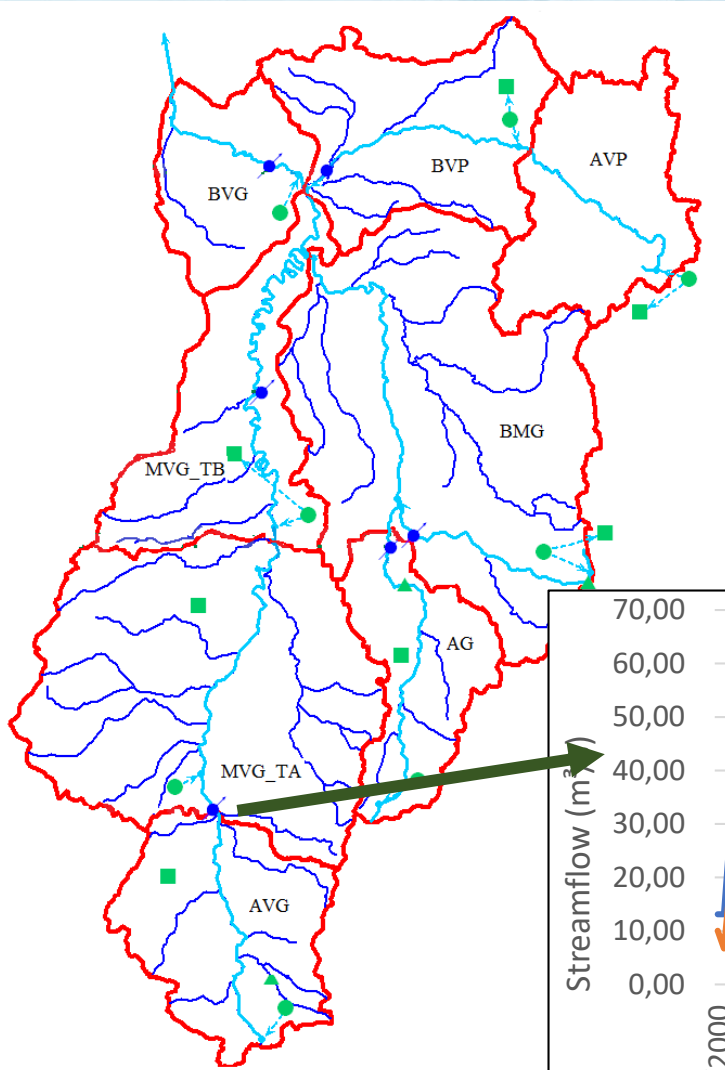


CENÁRIOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tendencial				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Normativo 1				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Normativo 2				1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1-6	1-6	1-6	1-9	1-9	1-9

# Calibração

## ESTATÍSTICAS

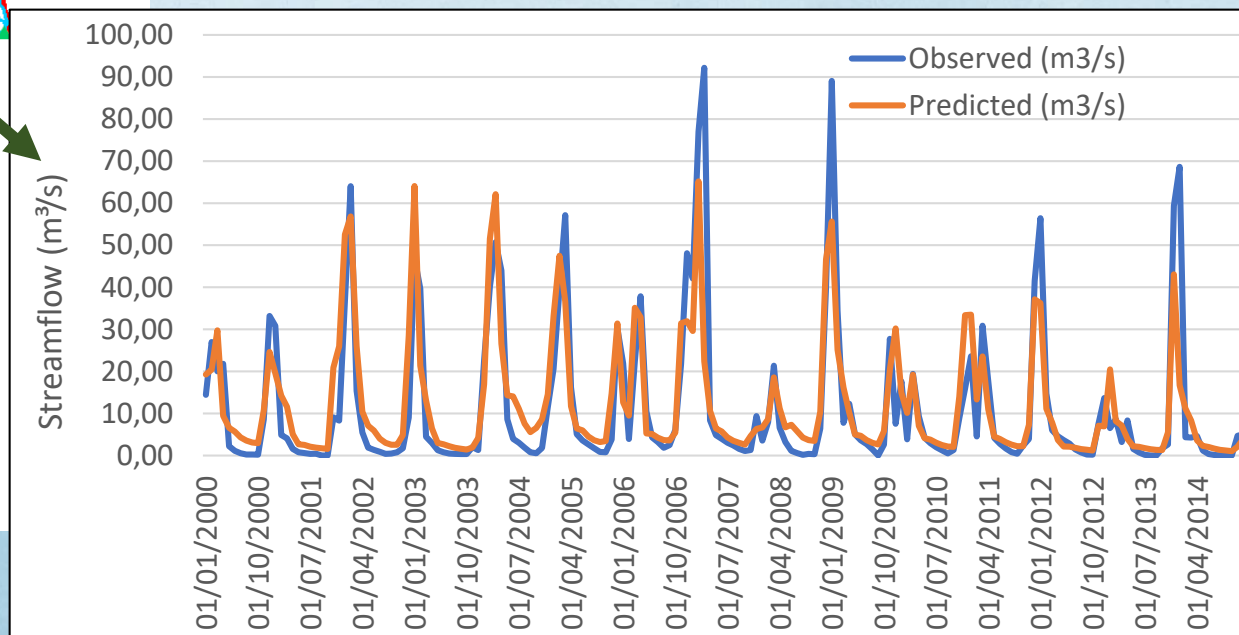
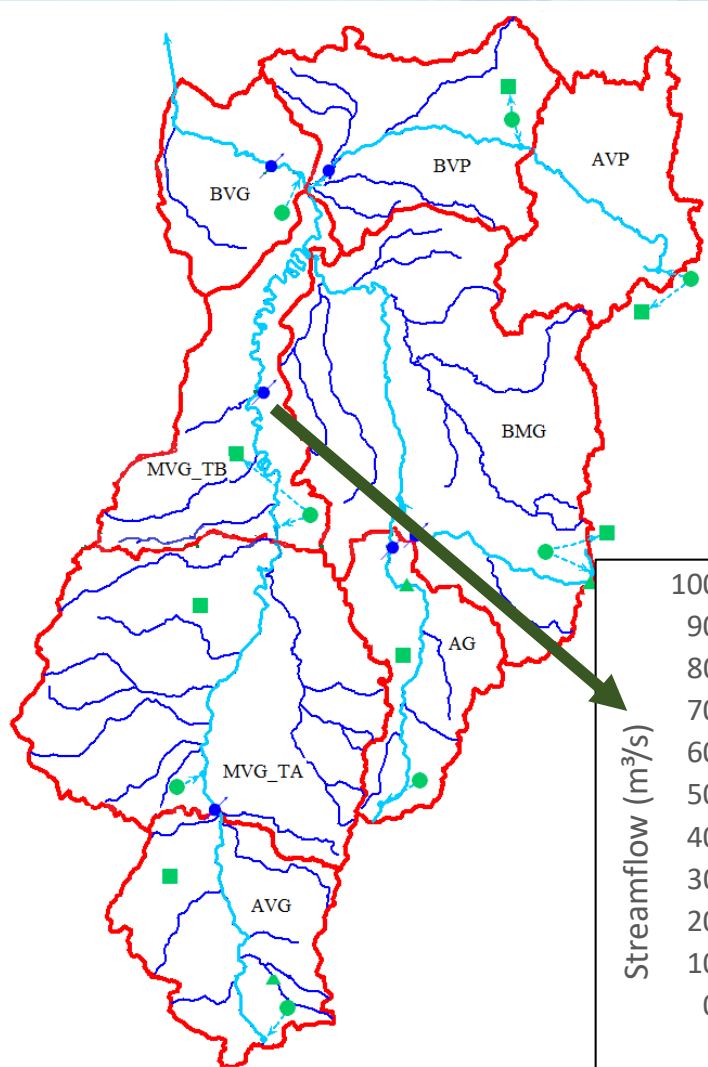
MÉDIA, m <sup>3</sup> /s	7.83
MedianA, m <sup>3</sup> /s	2.95
Desvio Padrão, m <sup>3</sup> /s	10.44
Correlação de Pearson	0.91
Coefficiente de Determinação	0.82
Índice de concordância (Willmott)	0.95
Coefficiente Eficiência (Nash)	0.82



# Calibração

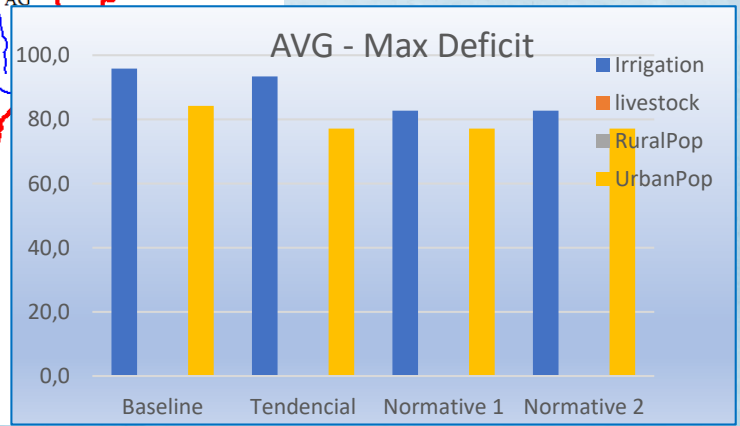
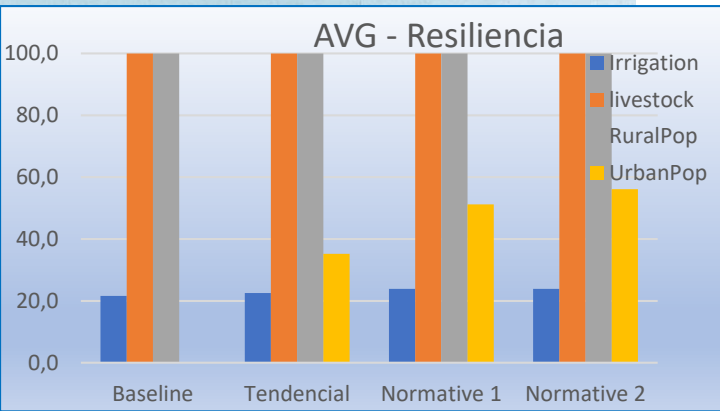
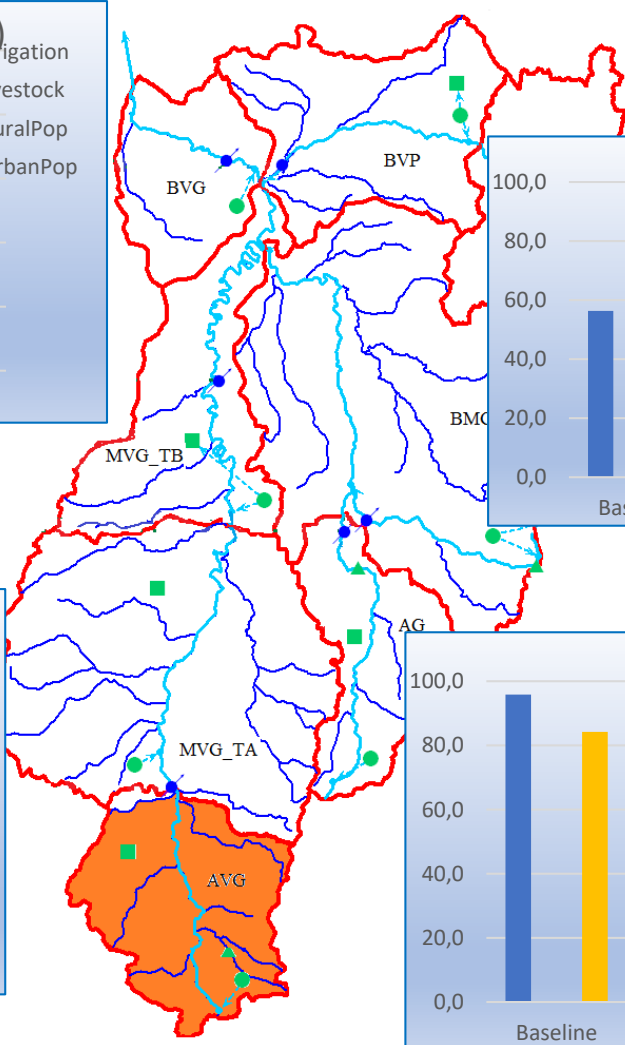
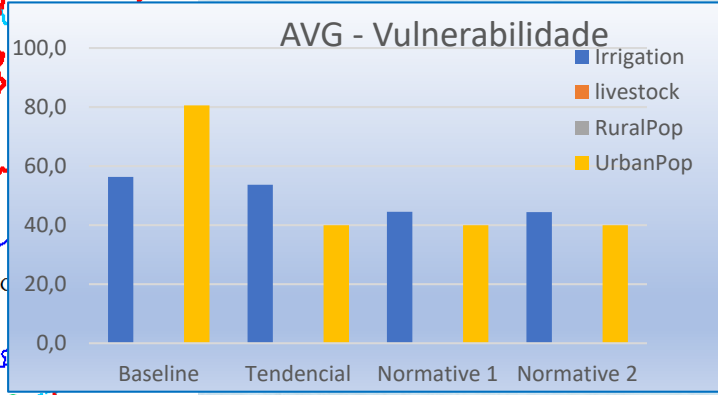
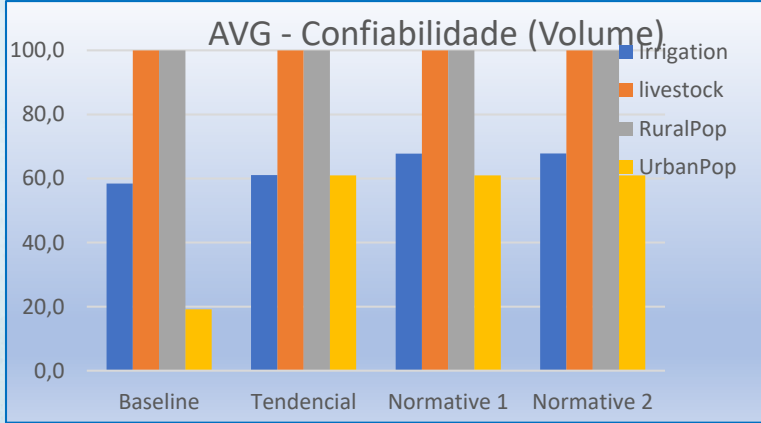
## ESTATÍSTICA

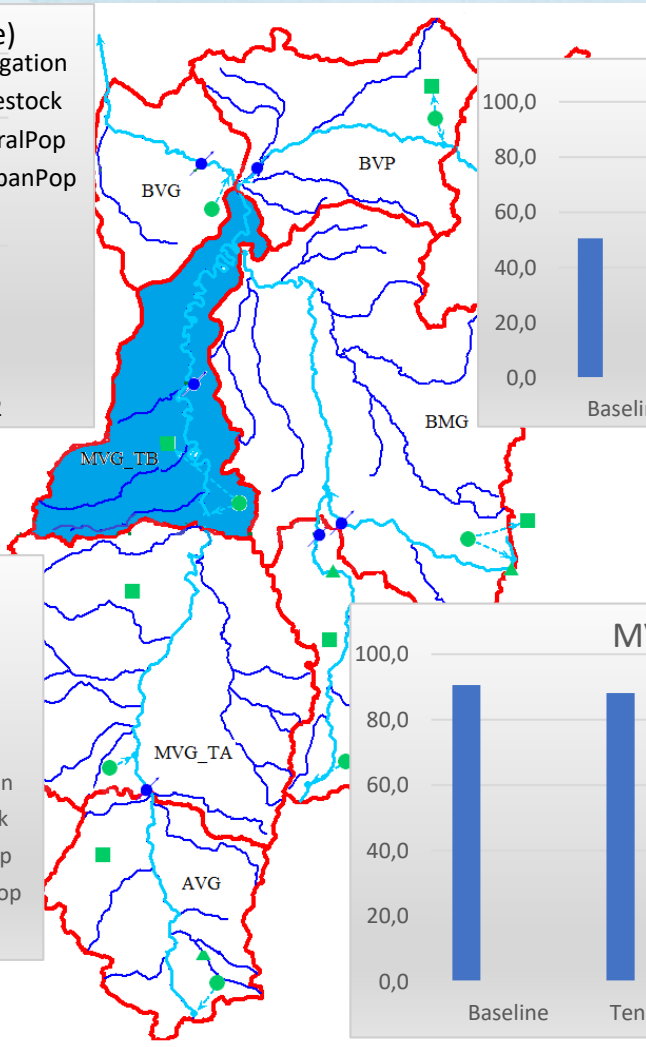
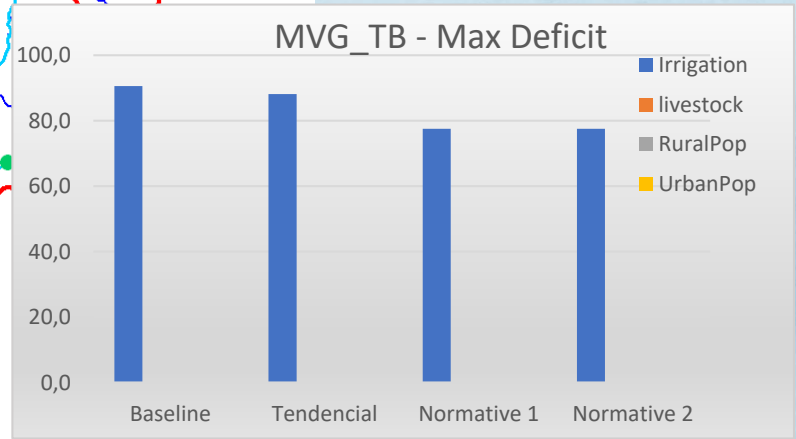
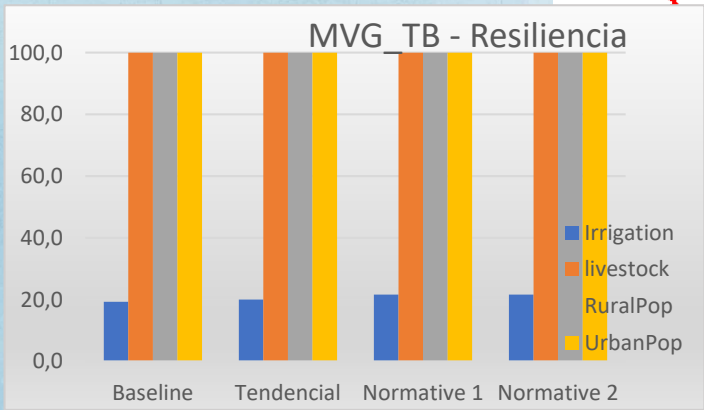
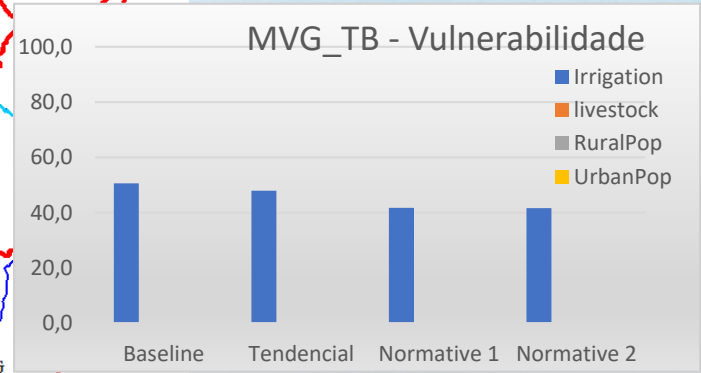
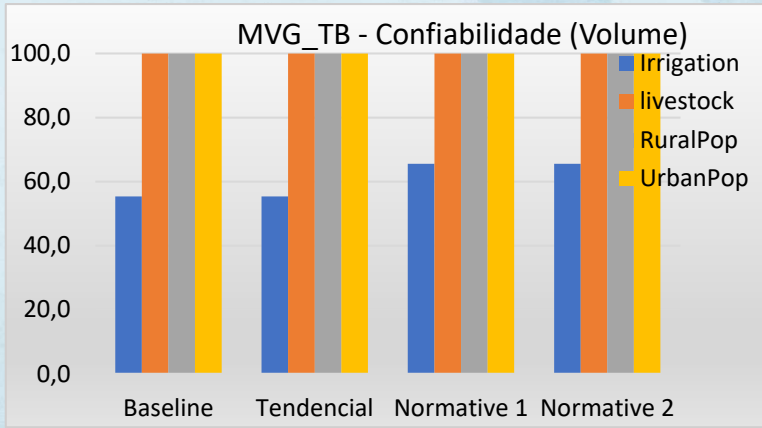
Média, m <sup>3</sup> /s	12.10
Mediana, m <sup>3</sup> /s	6.15
Desvio Padrão, m <sup>3</sup> /s	13.92
Correlação de Pears	0.83
Coefficiente de Determinação	0.70
Índice of Concordância (Willmott)	0.90
Coefficiente de Eficiência (Nash)	0.69

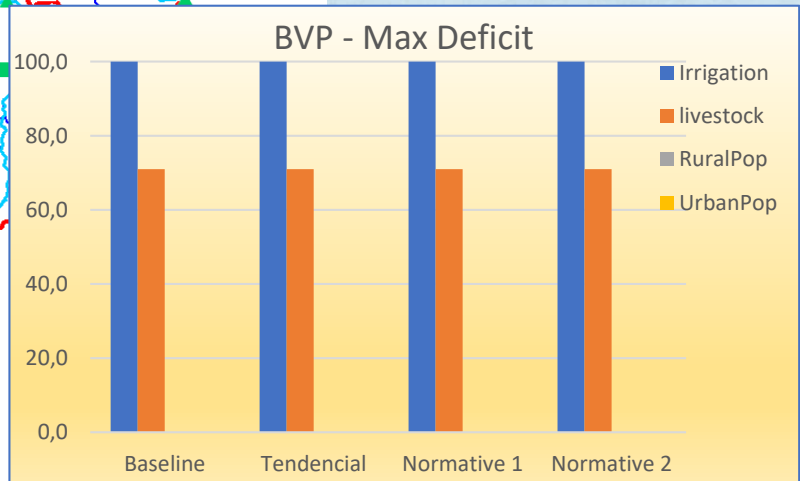
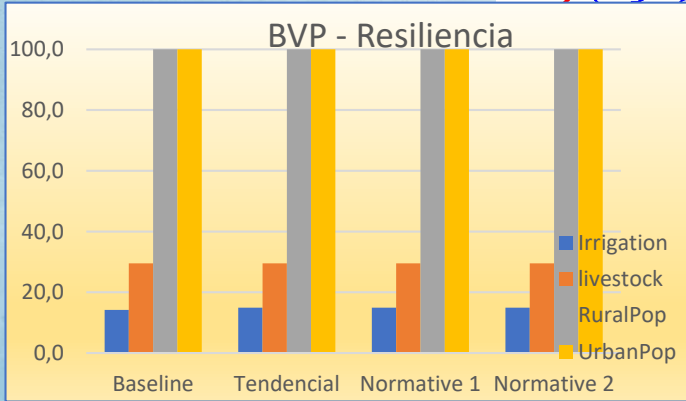
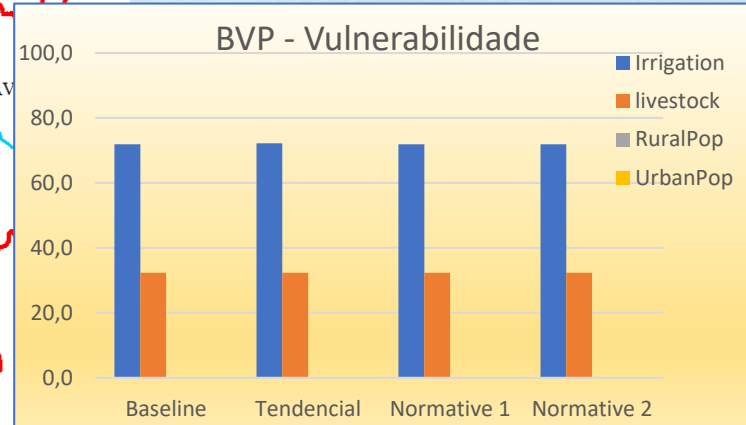
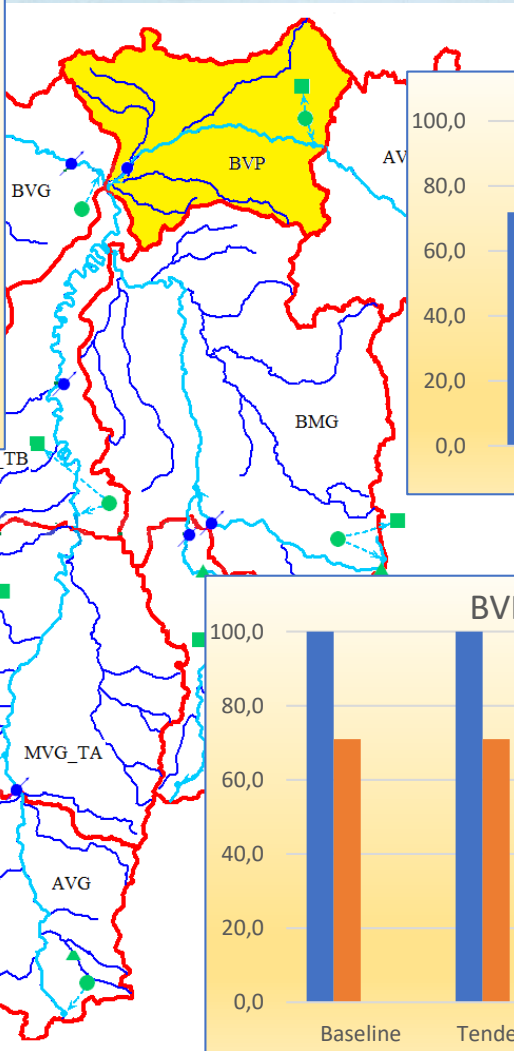
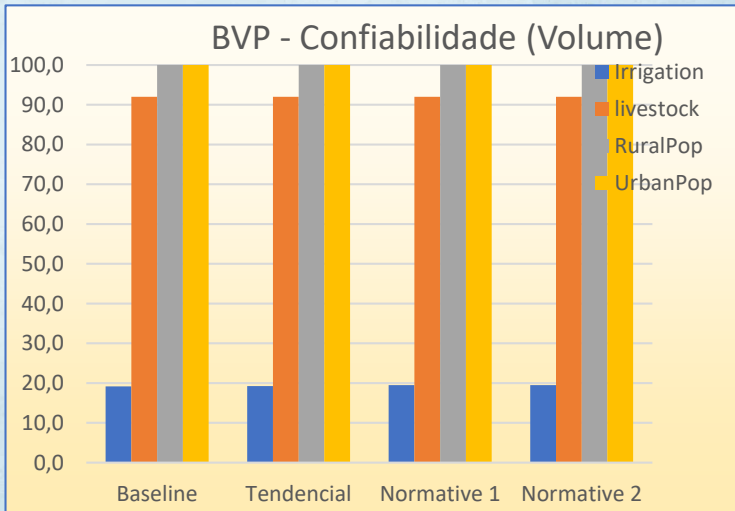




# RESULTADOS



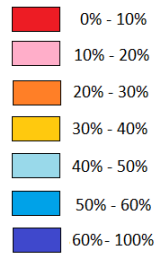




# Referência vs Tendencial

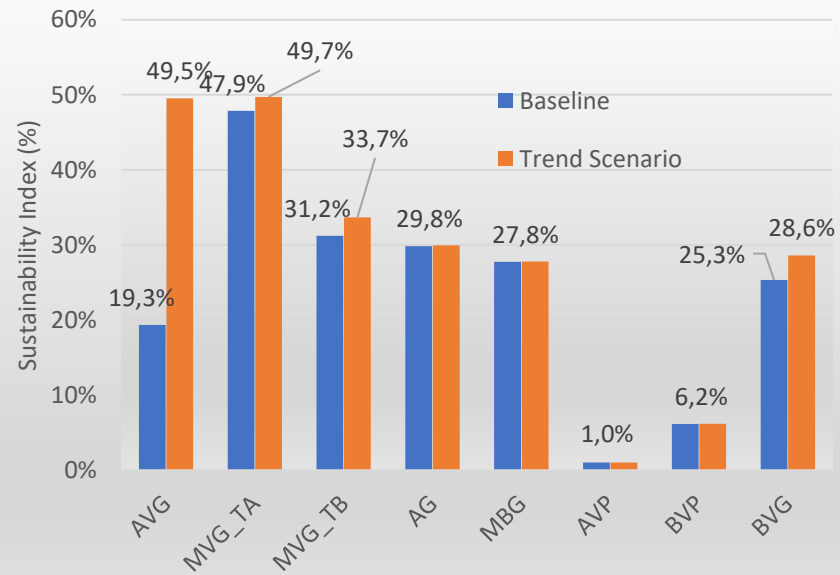
# Índice de Sustentabilidade

Sustainability Index by Subbasin

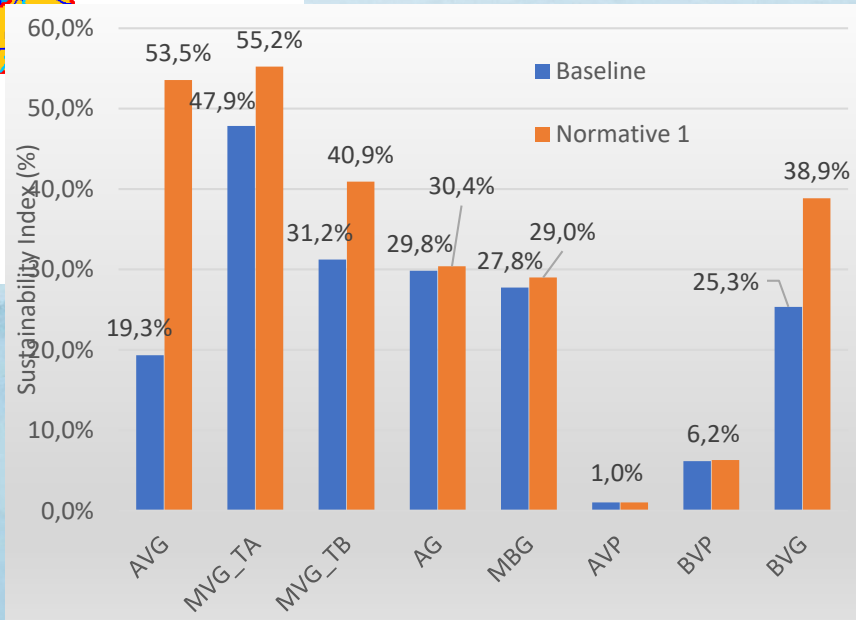
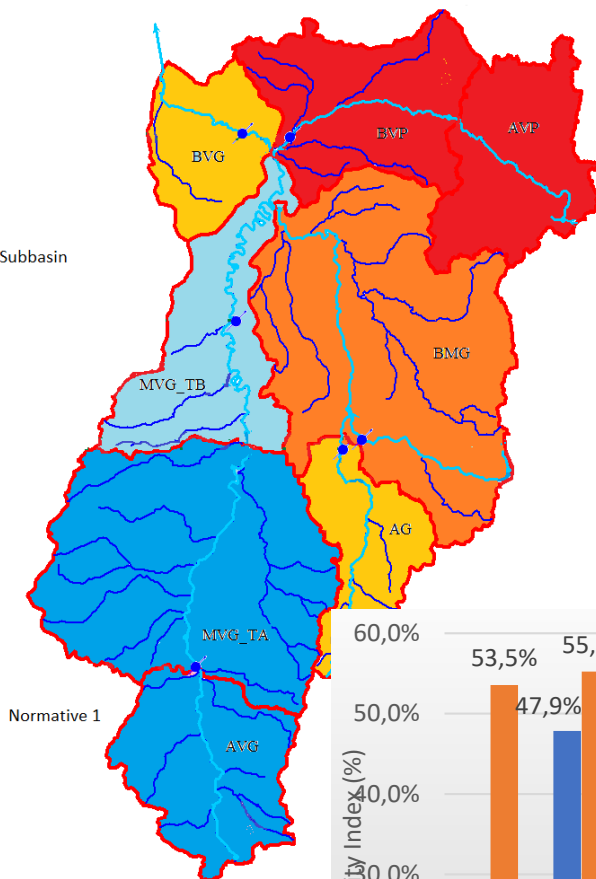
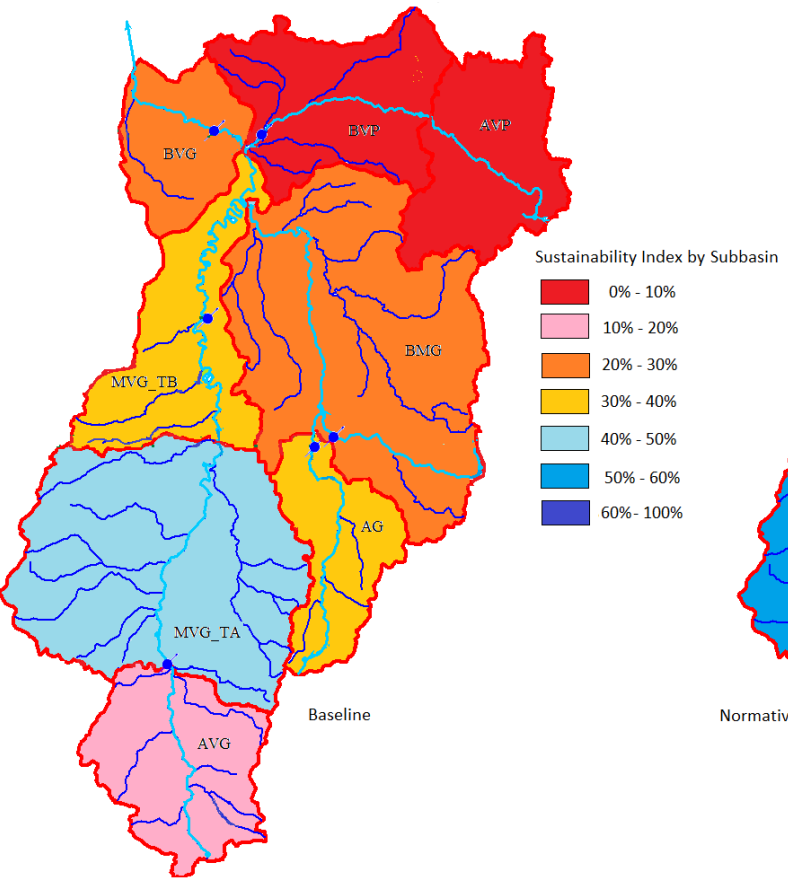


Baseline

Trend Scenario

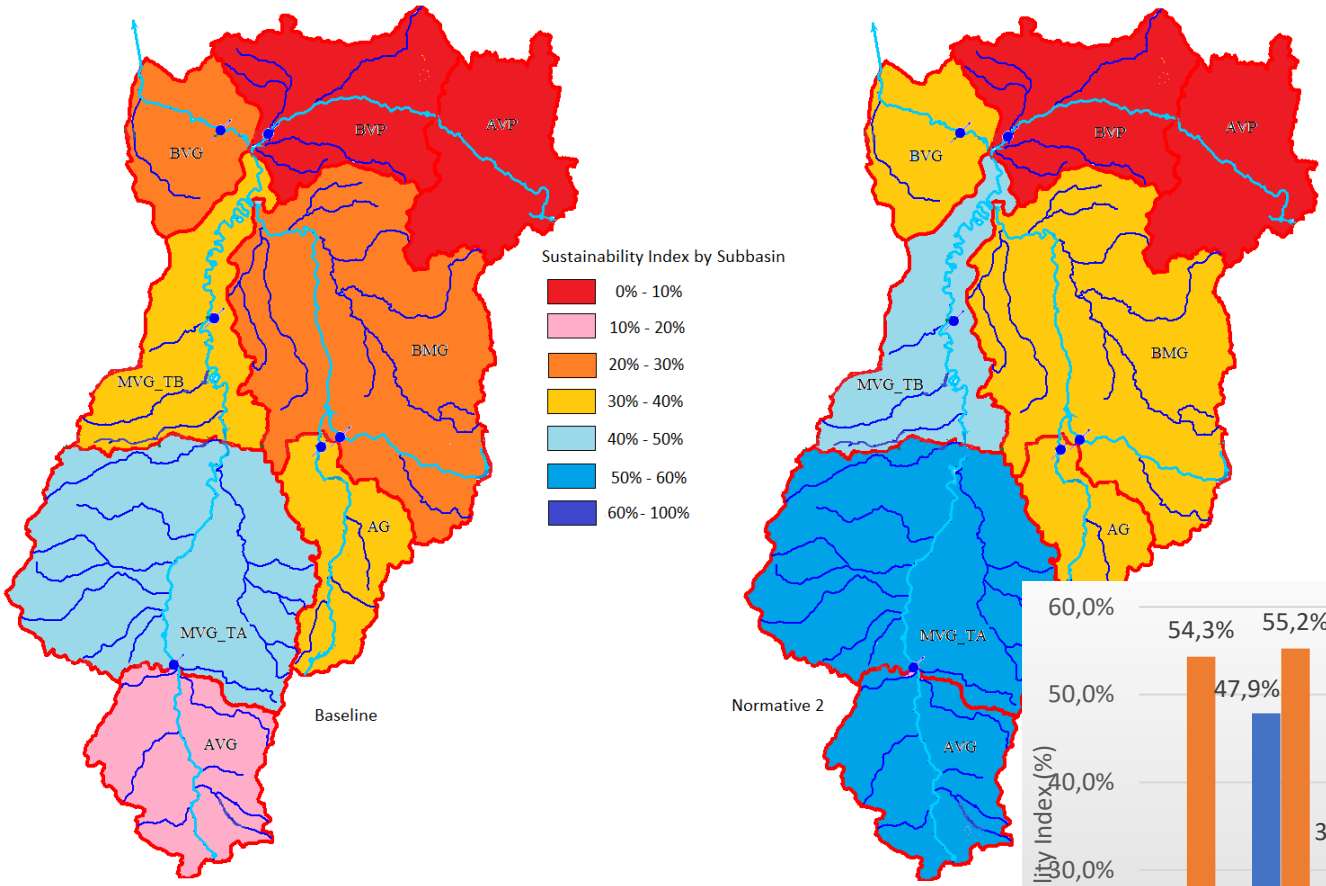


# Referência vs Normativo I

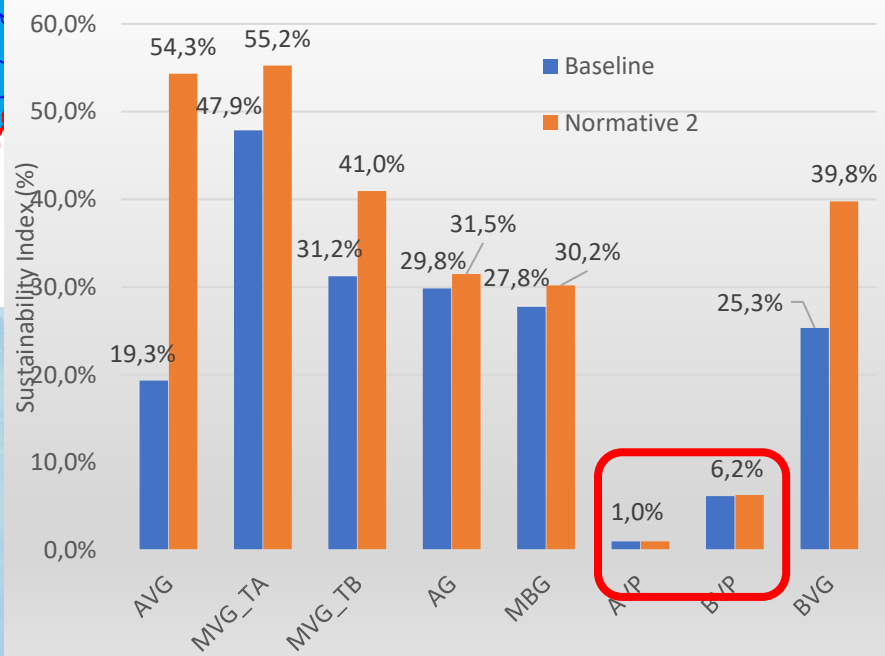


# Índice de Sustentabilidade

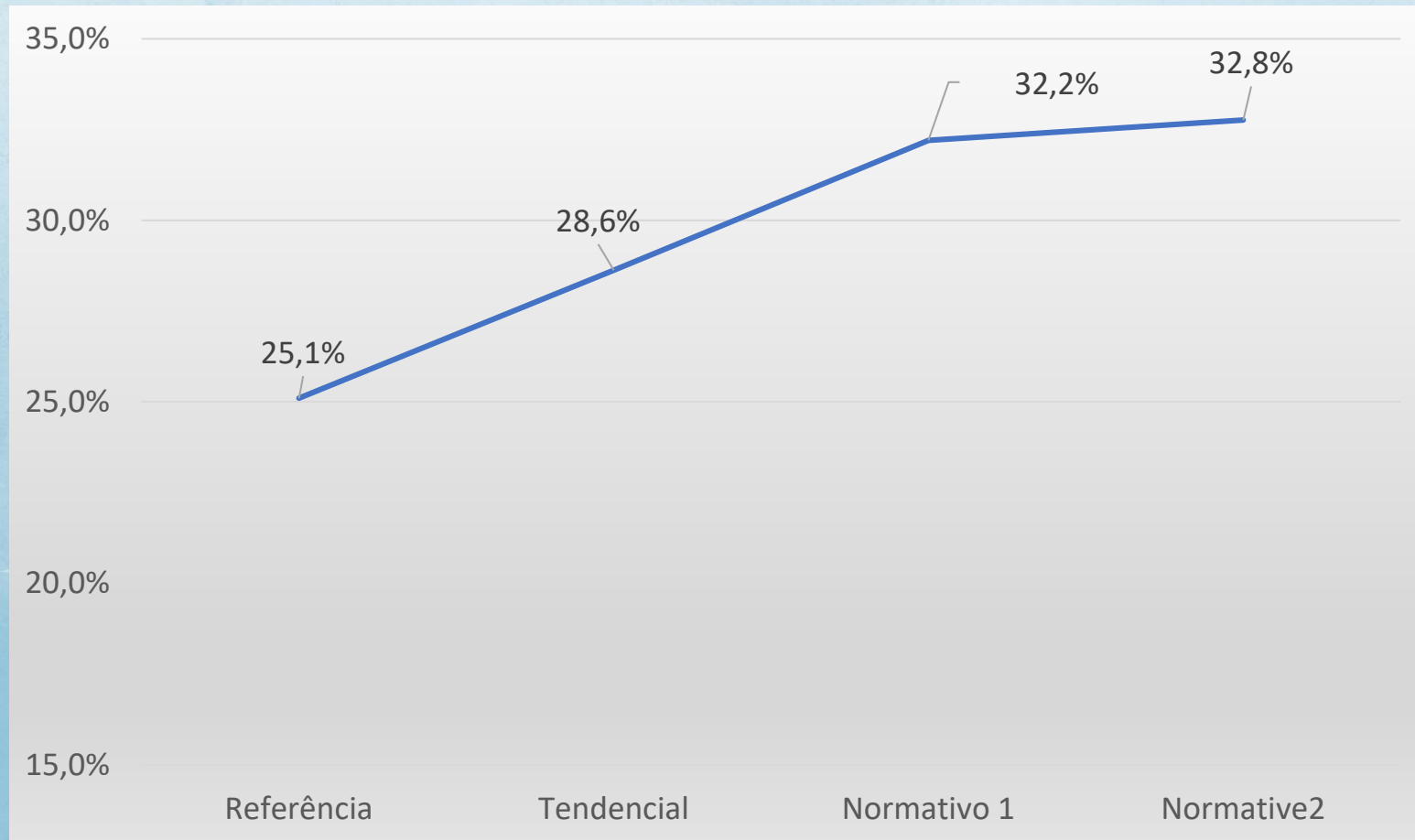
# Referência vs Normativo 2



# Índice de Sustentabilidade



# Índice de Sustentabilidade da bacia do rio Verde Grande





## Conclusões

- O Índice de Sustentabilidade (SI) identificou as ações do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Verde Grande (PRHVG) que podem contribuir com a segurança hídrica com previsão até 2030.
- O SI mostrou que a água disponível, apesar de apresentar algumas melhorias para algumas atividades após a análise dos cenários, se mantém insustentável apresentando o parâmetro de Máxima Deficiência ainda alto.

## Conclusões

- Considerando toda a bacia, não houve melhorias significativas no incremento de água com a implementação das ações propostas no PRHVG (Insegurança hídrica alta)

# Obrigado

**Edson de Oliveira Vieira**  
**Instituto de Ciências Agrárias**  
**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**eovieira@ica.ufmg.br**

