



VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Câmara Técnica de
Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Câmara Técnica de Uso e
Conservação da Água na Indústria

CT-MH
Câmara Técnica de
Monitoramento Hidrológico



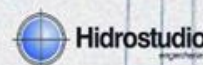
edison da
POÇOS SUBTERRÂNEOS



UNIPER
POÇOS SUBTERRÂNEOS



Sigesp





**VIII Workshop de
Águas Subterrâneas**
dos Comitês PCJ
Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Comitê Técnico de
Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Comitê Técnico de Água e
Indústria

CT-MH
Comitê Técnico de
Monitoramento Hidrológico

AgSolve
GeoAcqua

edison da



Sigesp



Sistema de Suporte à Decisão como solução integrada para crises hídricas em cidades resilientes

Carlos Gamba

UNESP/Rio Claro – Novembro de 2025

Apresentação

O SACRE é um dos maiores projetos de pesquisa em recursos hídricos superficiais e subterrâneos atualmente em curso no Brasil.



SACRE

soluções integradas de água
para cidades resilientes

O Projeto objetiva reduzir a vulnerabilidade de cidades e do campo às crises de água, intensificadas pelas mudanças climáticas globais.



Objetivos do Projeto SACRE

- Aumentar a resiliência às mudanças climáticas globais, buscando soluções tecnológicas, naturais e de manejo;
- Entender como as cidades modificam a geoquímica e a hidráulica de aquíferos;
- Avaliar como as mudanças climáticas globais afetam as águas subterrâneas;
- Estabelecer as melhores práticas e soluções para proteção de aquíferos, além de propor alternativas de gestão.

Parceiros do SACRE

Lideranças institucionais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do país:

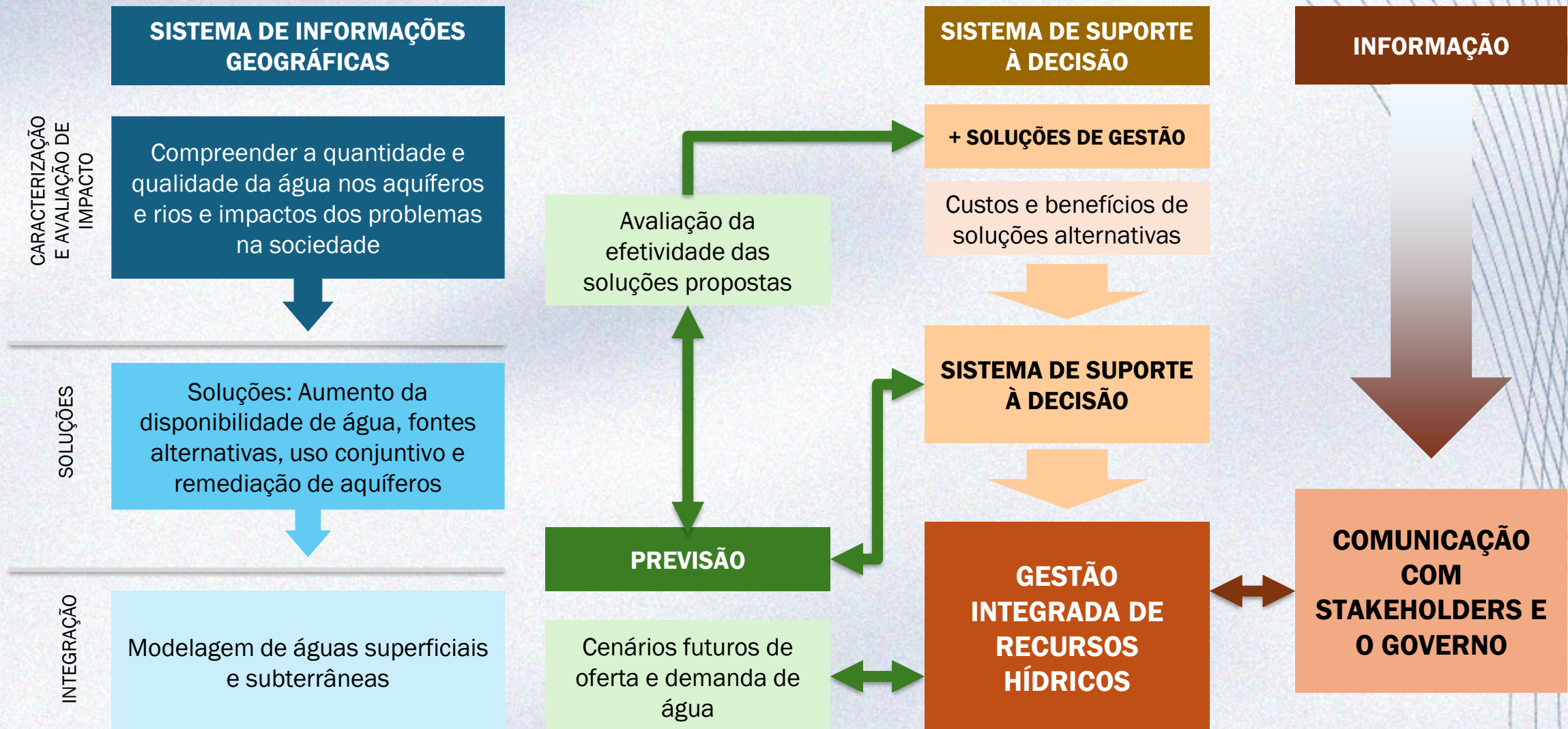
- Universidades nacionais e internacionais;
- Agências de governo;
- Apoio formal do governo do Estado de São Paulo e do Canadá.



A ideia central do projeto SACRE



A ideia é desenvolver pesquisas e tecnologias originais, que subsidiem e gerem políticas públicas, por meio de estudos-piloto, formação de recursos humanos de alto nível (mestrado, doutorado e pós-doutorado) e comunicação social.



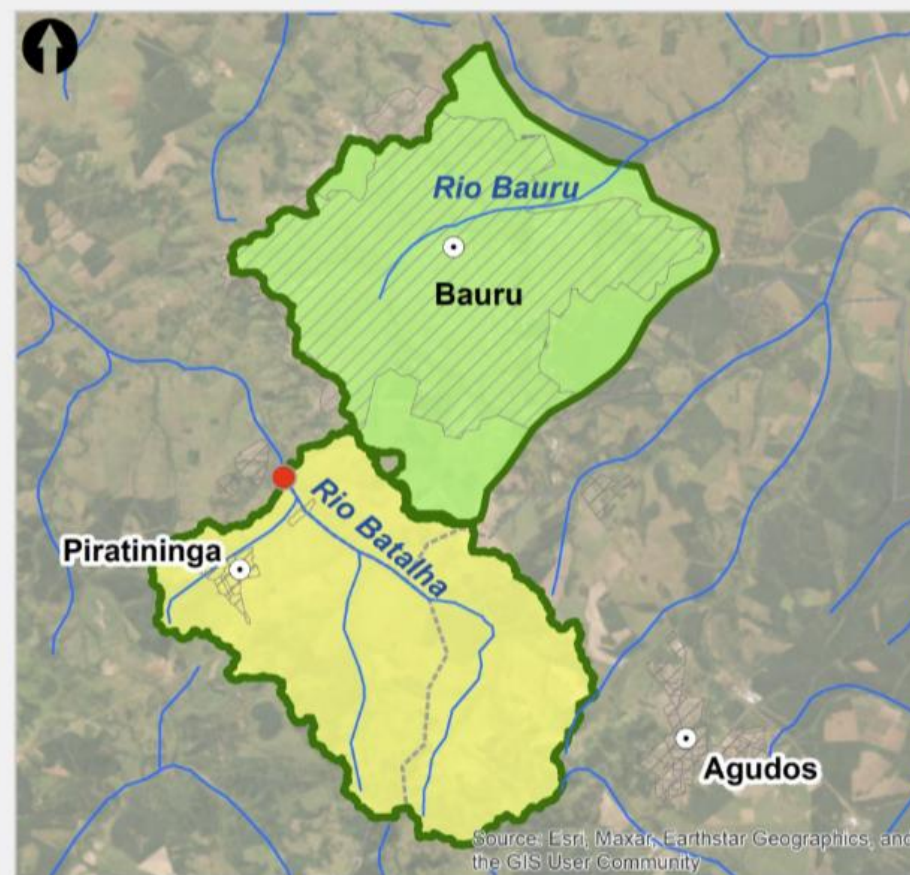


Produtos do Projeto SACRE








- **Estudos piloto:** tecnologias de aumento de disponibilidade hídrica
 - Recarga de aquíferos
 - Sistema de filtração em margem de rio
 - Remediação de aquíferos contaminados
- Desenvolvimento de modelos hidrológicos
 - Bacia do Batalha
 - Sistemas Aquíferos Guarani e Bauru
- Avaliação do potencial das tecnologias na escala de município
 - Modelos, viabilidade e custos

Área de estudo do SACRE

- **Três municípios:**
Bauru (área urbana e rural),
Piratininga (área urbana e rural) e Agudos (área rural)
- **Duas UGHRIs:**
 - ✓ 13 - Tietê-Jacaré (área urbana de Bauru: Rio Bauru)
 - ✓ 16 - Tietê-Batalha (parte alta do Rio Batalha, captação superficial de Bauru)



Legenda

-  Trechos de drenagem
 -  Área de Estudo
 -  Limites Municipais
 -  Perímetro Urbano
 -  Bacia Hidrográfica do Rio Bauru
 -  Bacia Hidrográfica do Rio Batalha
 -  Captação Superficial para abastecimento público
 -  Sede Urbana
- 0 3 6 12 Km

A cidade de Bauru

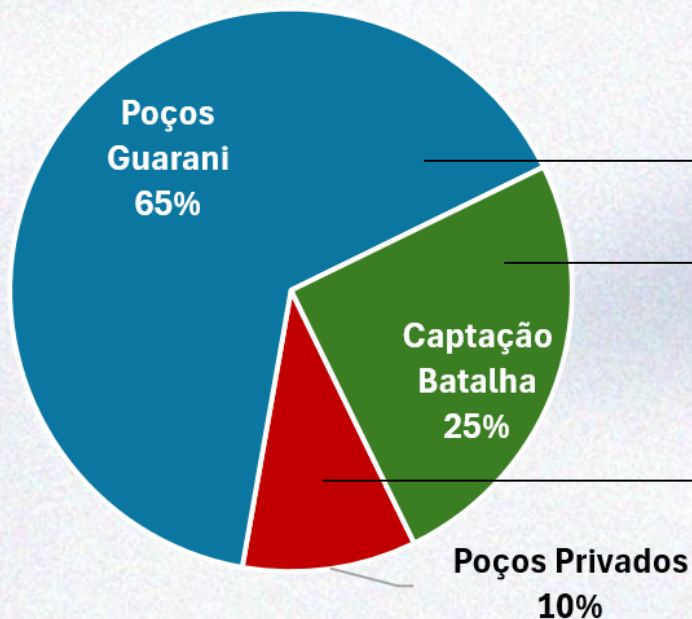
- 390 mil habitantes
- Um importante centro econômico regional
- Vulnerável à intensificação dos problemas de mudanças climáticas que prolongam a seca



Rio Batalha em outubro de 2024



Abastecimento de água em Bauru



Poços Guarani ~ 1200 L/s

- + 40 poços (2010-2023)
- Produção **aumentou** 50%

Captação no Batalha: 350-400 L/s

- Pequena lagoa de regularização de vazão
- Produção **reduziu** ~20% (2010-2023)

Poços privados: 100-115 L/s

- + 570 poços mapeados
- Produção **aumentou** ~50% (2010-2023)

Principais usos:

- Residencial (86%)
- Comercial (9%)
- Indústria e demais usos (5%)

Cenário atual na cidade de Bauru

ESTIAGEM

Afeta o Rio Batalha:

- bacia pequena (125 km²)
- Pouca capacidade de reservação
- Redução do bombeamento no período seco

INFRAESTRUTURA

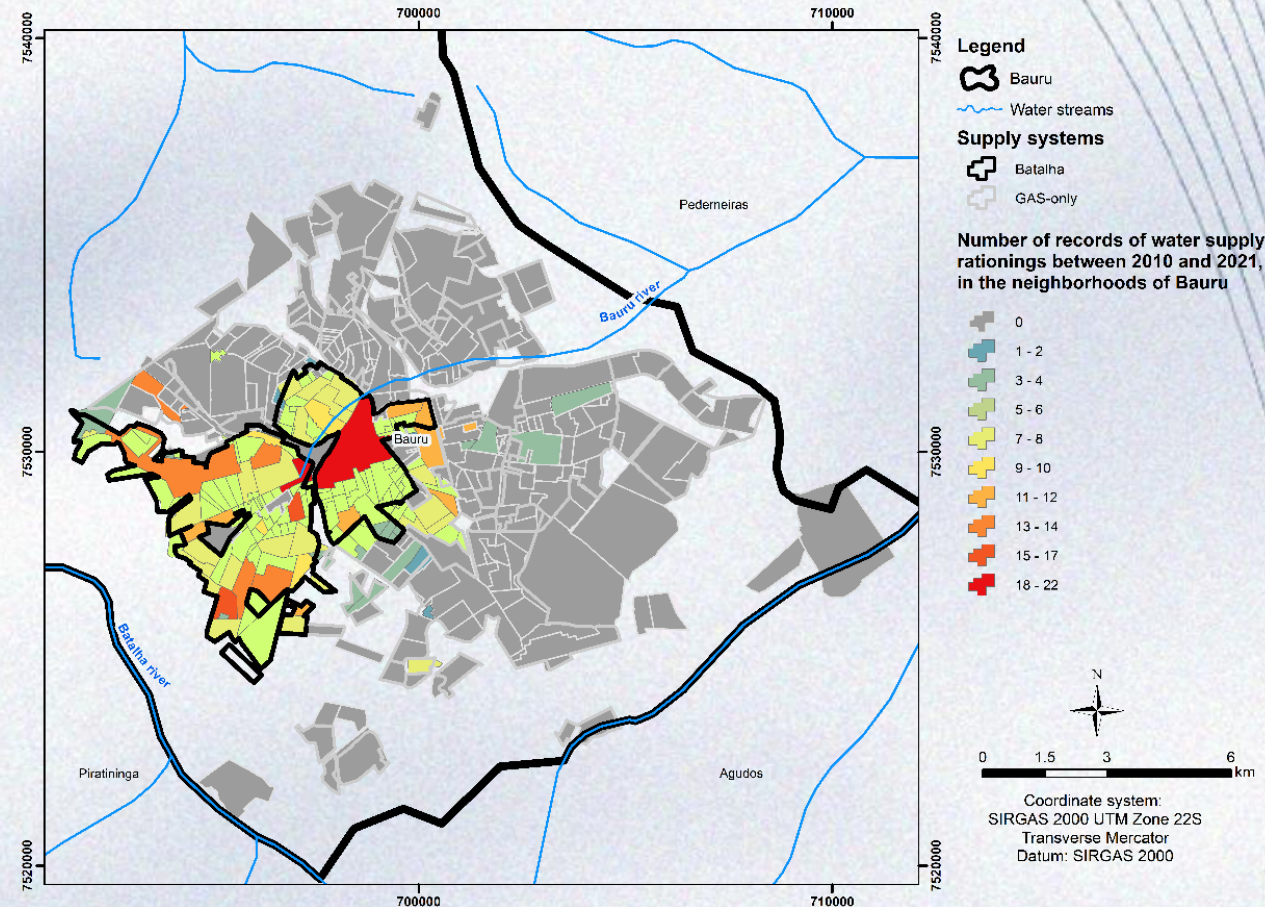
- Alto índice de perdas (>35%)
- Dificuldade de atender a região do Batalha com águas subterrâneas

GESTÃO

- **Consumo de água:** ↑ na bacia do Alto Rio Batalha
- **Uso e ocupação do solo:** ↑ silvicultura de eucaliptos
- **Alocação de água** aos usos prioritários
- **Lacuna de informação** sobre captações na bacia

Onde/como ocorre a crise?

- A crise hídrica ocorre na região do Batalha (redução de produção a partir da captação superficial, associada à estiagem)
- O Departamento de Água e Esgoto (DAE) responde à redução de produção com rodízios no abastecimento
- Nas regiões atendidas somente por poços no SAG, não há crise – mas pode haver um déficit generalizado no futuro



Questões relevantes identificadas

Quantidade de água

- Redução de vazões na captação no Rio Batalha em estiagens;
- Alto nível de perdas de água no abastecimento de Bauru;
- Regiões em Bauru afetadas por falhas de abastecimento (rodízio e solicitações de caminhão-pipa);
- Aumento das retiradas no Sistema Aquífero Guarani (águas não-renováveis, recarga leva mais de 30 mil anos)

Qualidade de água

- Contaminação do Sistema Aquífero Bauru por **nitrato**, metais pesados, hidrocarbonetos e solventes clorados, devido a vazamentos na rede de esgoto e outras fontes poluidoras;
- Lançamento de esgotos domésticos in natura em rios na área urbana de Bauru;
- Assoreamento e eutrofização na parte alta do Rio Batalha;

Gerenciamento e demais questões

- Irregularidade na perfuração de poços particulares: boa parte sem outorga, embora haja cadastro do DAE;
- Construção de condomínios em loteamentos na região da APA do Rio Batalha.

Soluções passíveis de implementação

Quantidade de água

- Modernização da ETA Batalha e do sistema de tratamento dos resíduos gerados na ETA (maior capacidade de tratamento);
- Nova captação no Rio Batalha (~22 km a jusante, maior vazão captada);
- Medidas de redução de perdas (reais e aparentes), com setorização de redes de abastecimento;
- Perfuração de novos poços de captação.

Qualidade de água

- Coleta e tratamento de esgotos sanitários;
- Remediação de áreas contaminadas (aterro municipal, por exemplo);
- Práticas de conservação de solo e água na parte alta da bacia do Rio Batalha;
- Restauração florestal de nascentes, matas ciliares e áreas degradadas;
- Melhorias na disposição de resíduos sólidos urbanos;

Gerenciamento e demais questões

- Fiscalização, cadastramento e regularização de usuários de poços particulares;
- Aumento do monitoramento de qualidade e quantidade de água;
- Implementação de sistema de telemetria nos poços e reservatórios pelo DAE em Bauru;
- Capacitação e Educação Ambiental.

Ações e soluções do SACRE

Avaliar e desenvolver ações para melhoria da quantidade e qualidade de água



Bacia do Rio Batalha

- Sistema de barraginhas (recarga artificial de aquíferos)*, **
- Programas de PSA
- Ampliação e alteamento de reservatórios na regularização do rio**



Sistema Aquífero Guarani

- Manutenção dos poços atuais*
- Aumento de poços na área urbana*
- Campos de poços na área rural*
- Recarga Gerenciada*



Bacia do Rio Bauru

- Filtração em margem como pré-tratamento para abastecimento (RBF)
- Fitorremediação para aumentar recarga*
- Uso integrado dos poços privados no Sistema Aquífero Bauru (autoabastecimento) e redução da demanda do sistema de abastecimento público



Gestão da demanda

- Controle e redução de perdas

* Estudo piloto (campo)

** Soluções avaliadas em modelos
hidrológicos

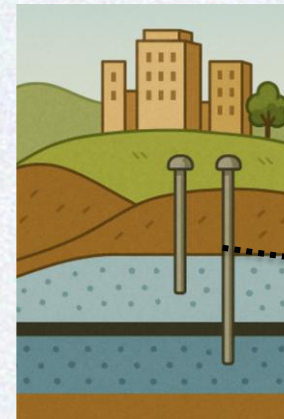
Modelagens em desenvolvimento no SACRE

- **Modelos de fluxo em desenvolvimento (SACRE):**
 - **Bacia do Rio Batalha (fluxo superficial e subterrâneo + alocação)**
 - **Sistema Aquífero Guarani (fluxo)**
 - **Sistema Aquífero Guarani (fluxo e transporte de nitrato)**

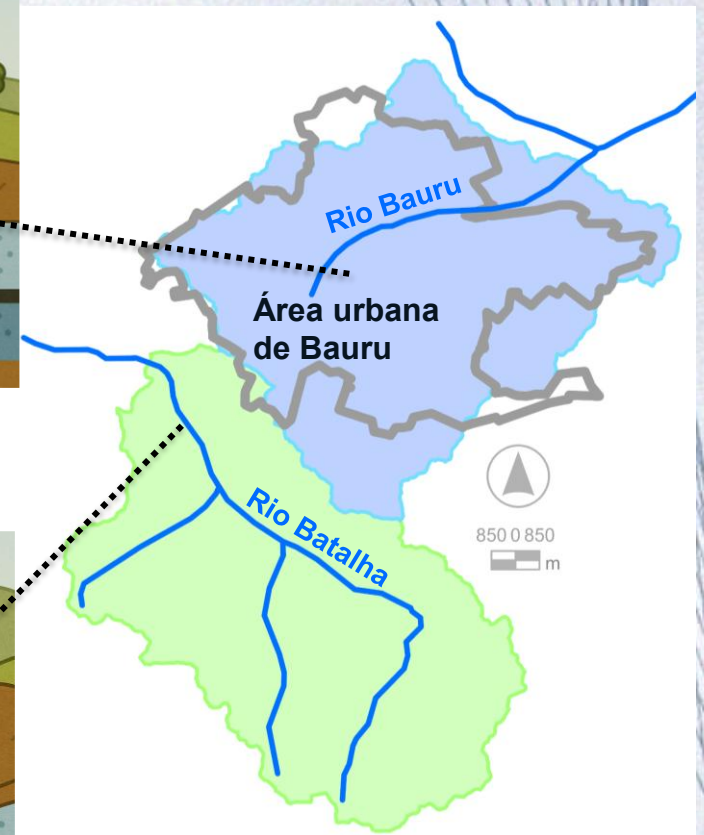
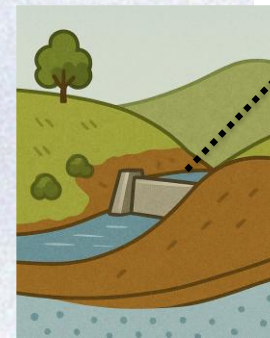
Modelos estão sendo desenvolvidos com código aberto

Bacia do rio Bauru

Aquífero Bauru
Aquífero Guarani



Bacia do rio Batalha



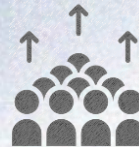
Elaboração de cenários

- Os cenários são relevantes para avaliar quão robustas e resilientes são as ações
- Modelos são usados para avaliar incertezas



Mudanças climáticas

- SSP-245 'Middle of the Road'
Intermediário
- SSP-585 'Fossil fuel development'
Pessimista



Expansão demográfica

- Estagnação
- Crescimento tendencial
- Crescimento acelerado



Uso e ocupação da terra

- Uso e ocupação atual mantidos
- Evolução de acordo com a série histórica

Captações na Bacia Alto do Rio Batalha

- Manutenção das captações
- Aumento das captações

Quais as melhores soluções para cada cenário?

Proposição de ferramentas de gestão | WP5

Métodos econômicos e políticos de gestão dos recursos hídricos

Objetivos:

- Desenvolver um conjunto apropriado de métodos, ferramentas e instrumentos de **política hidroeconômica**, integrados em uma plataforma, para apoiar e incentivar a implementação de estratégias sustentáveis de uso e gestão da água que melhorem a segurança hídrica.



**SISTEMA DE SUPORTE
À DECISÃO (SSD)**

Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

- Sistema computacional de apoio a tomada de decisão sobre gestão de recursos hídricos;
- Integra dados e modelos baseados em ciência e experiência local;
- Proposta em desenvolvimento;
- A ser aprimorado junto aos gestores e outros stakeholders.



VIII Workshop de Águas Subterrâneas

dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Comitê Técnico de Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Comitê Técnico de Uso e Monitoramento de Águas na Indústria

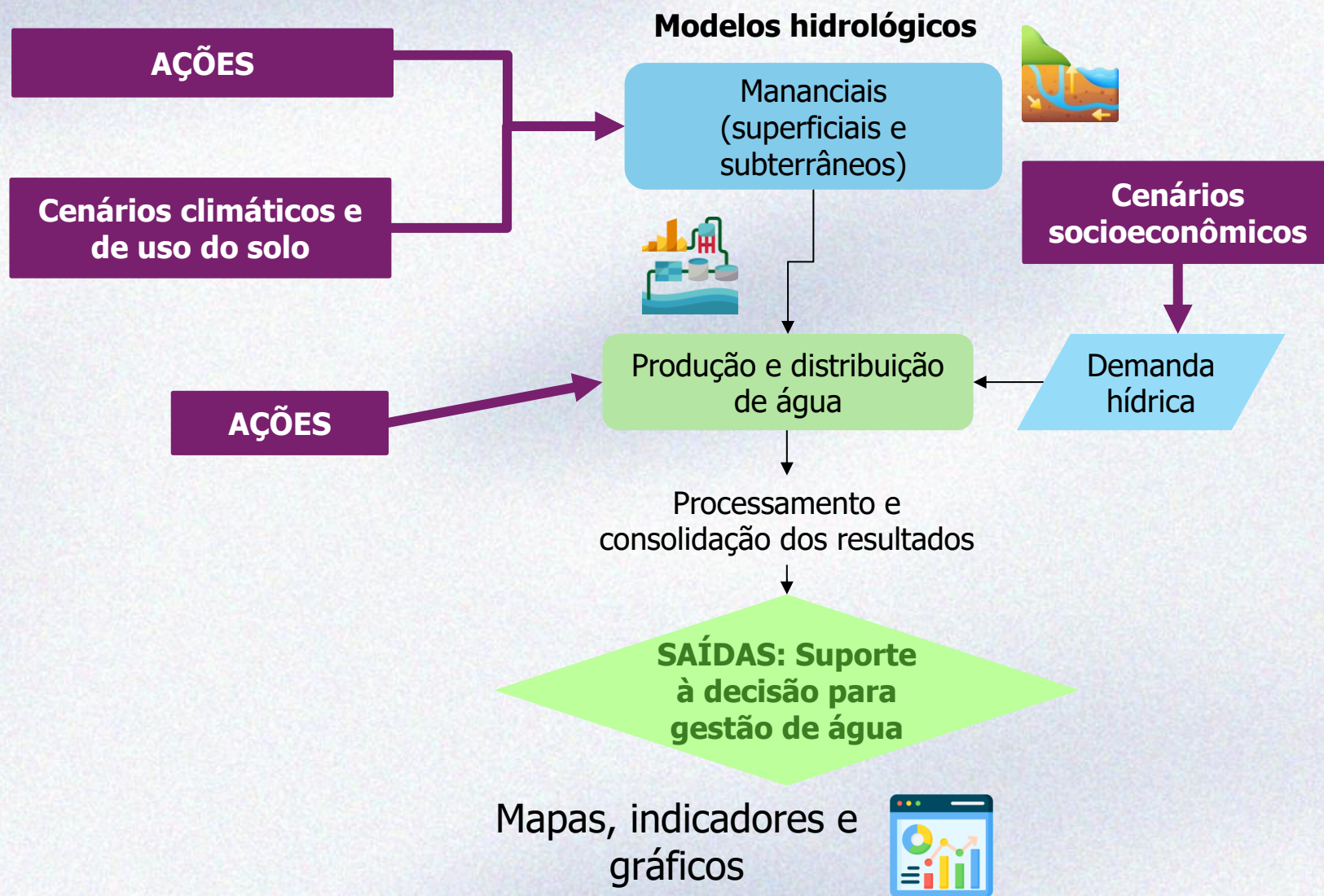
CT-MH
Comitê Técnico de Monitoramento Hidrológico

AgSolve
GeoAcqua

edison da



Sigesp



Perguntas que queremos responder:

- *O que acontece com a cidade na ausência de investimentos futuros?*
- *Para um cenário x, qual conjunto de ações consegue garantir a provisão de água?*
- *O conjunto de ações y é robusto a uma série de cenários futuros?*

Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

ENTRADA



- Estratégia de expansão da produção de água e da redução de perdas

Cenários

- Climáticos
- Demográficos
- Uso e ocupação do solo

PROCESSAMENTO

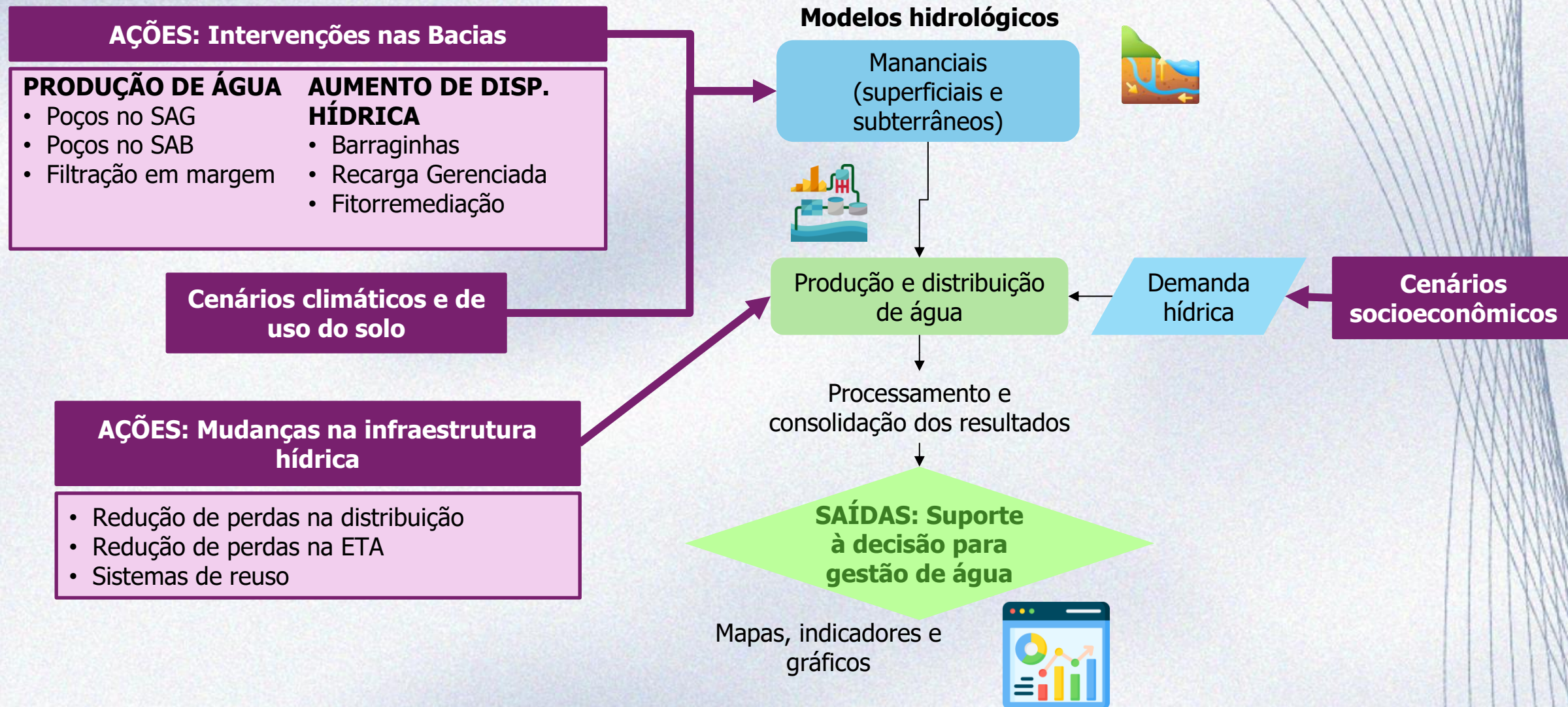


Execução do
modelo de
otimização:
minimizar
custo e incluir
restrições
ambientais

SAÍDA



- Combinação de soluções de abastecimento
- Visualização gráfica e mapas
- Indicadores
 - Consumo
 - Déficit
 - Vazão no rio
 - Rebaixamento
 - Custos



Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

ENTRADA



- Aumento da produção em 25%
- Redução de perdas para 25%

Cenários

- Cenário climático pessimista
- Crescimento populacional: 1,5% a.a.
- Aumento da silvicultura (tendência atual)

PROCESSAMENTO



Execução do modelo de otimização: minimizar custo e incluir restrições ambientais

SAÍDA



- **Estratégia:** campos de poços + barraginhas
- **Investimento:** R\$ X mi
- Evita o déficit até 2040
- **Redução das vazões captadas no manancial superficial**
- **Rebaixamento do aquífero:** + 1 m/ano



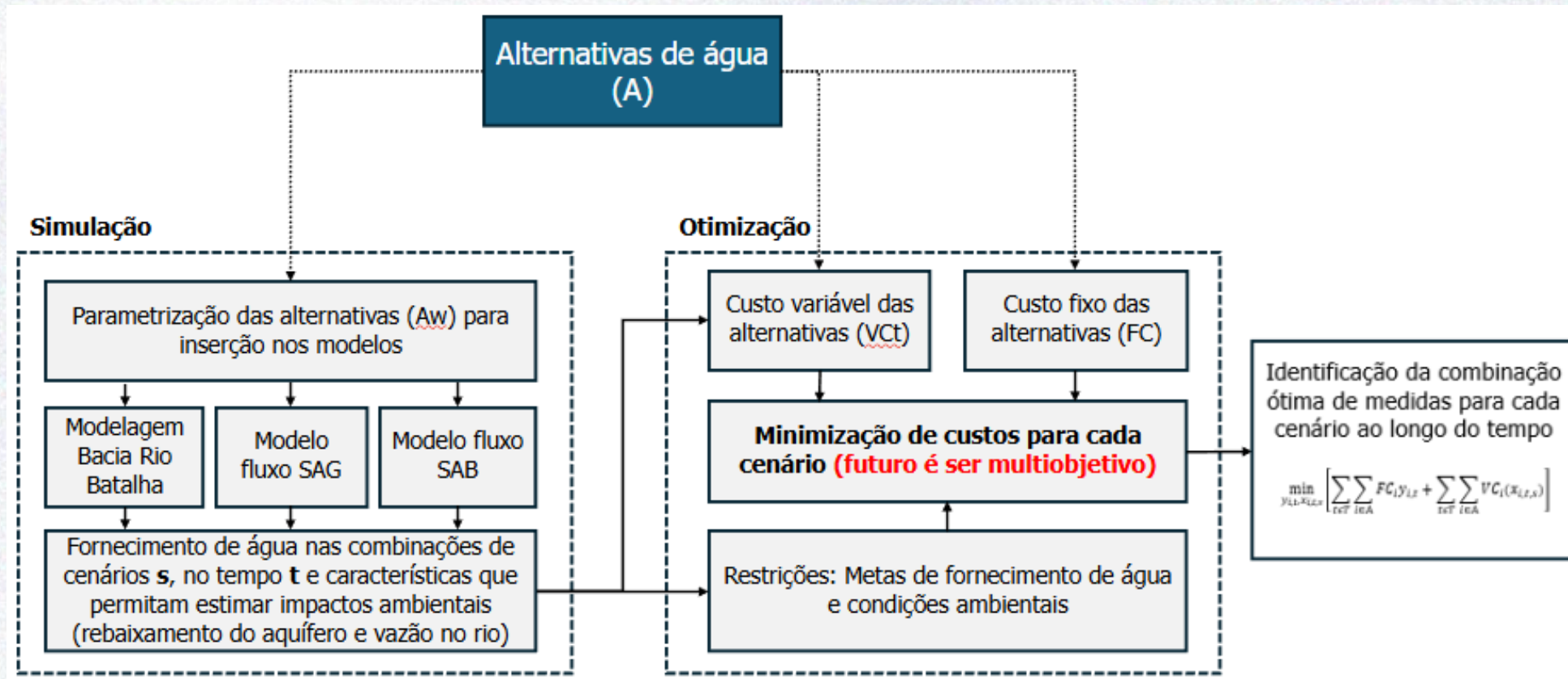
Como funciona essa Otimização no SSD

O que o algoritmo de otimização que vem sendo proposto faz?

- Solicita-se, por exemplo, uma expansão do sistema: “Aumente em 50% a produção de água no município, no horizonte de 30 anos”;
- O algoritmo retorna a combinação ótima de alternativas (menor custo fixo + variável) para atender a esse pedido;
- Depois, comparamos esse aumento de produção com vários cenários de demanda, para ver o desempenho da estratégia.

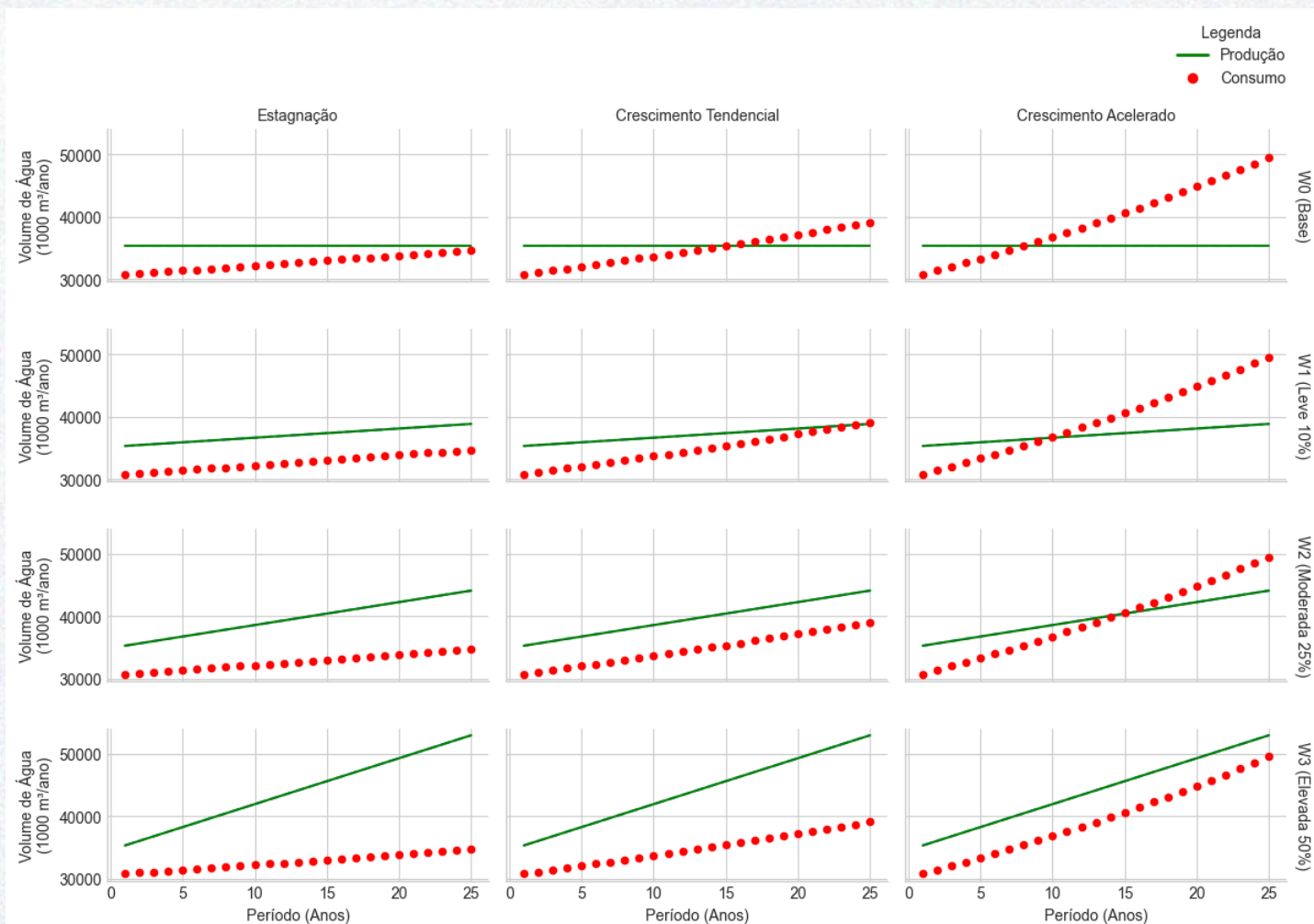


Otimização integrada ao SSD





Implementação da otimização proposta



Questões a serem resolvidas

- Que tipo de informações são mais relevantes para a tomada de decisão? Quais são as lacunas? Todas as variáveis utilizadas realmente importam para o decisor?
- A otimização é a melhor de analisar e gerar soluções?
- Qual o grau de conhecimento da população em relação ao problema de abastecimento de água e qual seria a melhor solução para os usuários?
- Como diferentes stakeholders visualizam os problemas e as soluções?



**VIII Workshop de
Águas Subterrâneas**
dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Comitê Técnico de
Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Comitê Técnico de Uso e
Gerenciamento de Água na Indústria

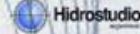
CT-MH
Comitê Técnico de
Monitoramento Hidrológico

AgSolve
GeoAcqua

edison da



Sigesp



Obrigado!

Carlos Gamba

carlosgamba@ipt.br