

META II FORMAÇÃO DE PREÇO

Workshop 3 Propostas para o preço por oferta

Bloco 4: Reservatórios virtuais

27 de novembro de 2024



4.1 Motivação para o reservatório virtual

Abstract teal wavy lines at the bottom of the slide, creating a sense of motion and depth.

Como se integram à proposta?

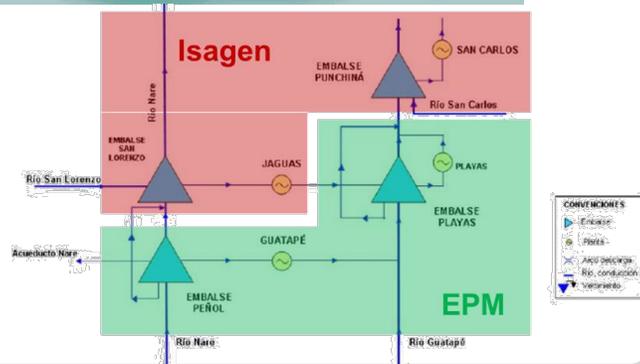
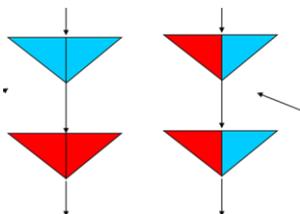


- Toda a proposta desenvolvida até aqui já “fica de pé” por si só – muitos países que adotam o preço por oferta aplicam **apenas** a lógica “tradicional” (ofertas de perfil) para representar hidrelétricas
- O **mecanismo de reservatórios virtuais** é uma componente adicional **recomendada**

INSPIRAÇÕES INTERNACIONAIS



“slicing”



MRE atual

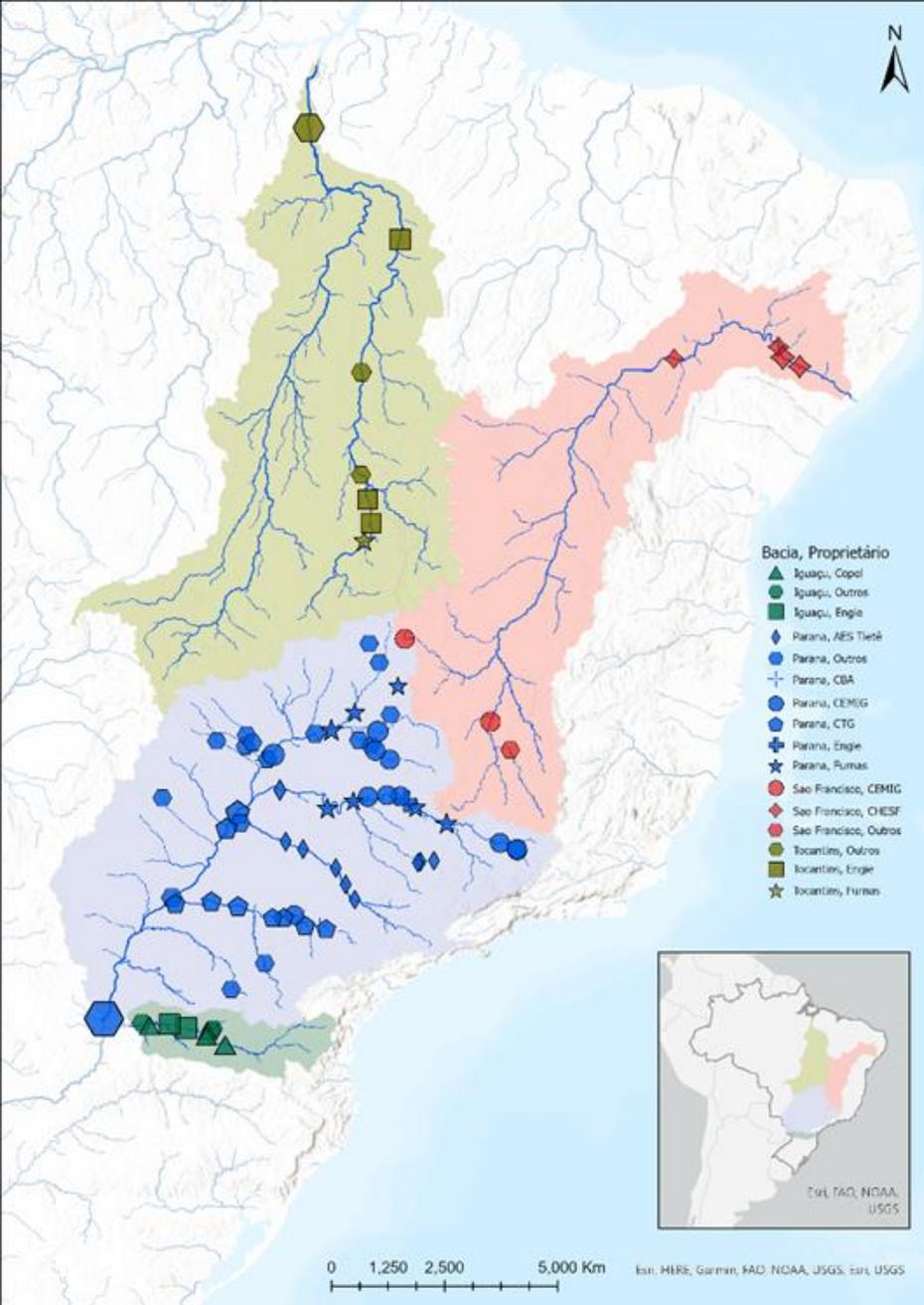
“NOVO MRE”

- Cotas de **afluência**, não de **geração**
- “Reservatório virtual” permite que os agentes **armazenem** esses direitos de afluência (estratégias de oferta)
- Transição **voluntária**: direito de fazer ofertas condicionado ao “Novo MRE”

Muito além dos legados



Cascatas brasileiras são “fora da curva” internacionalmente



Brasil
 22% da capacidade
 22 proprietários

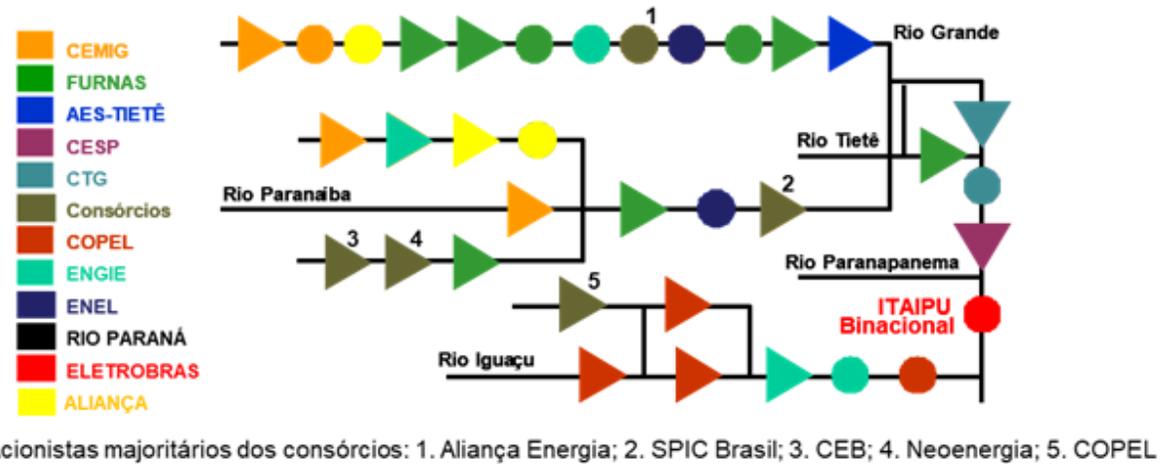
El Salvador
 23% da capacidade
 1 proprietários

Noruega
 6% da capacidade
 5 proprietários

Colômbia
 11% da capacidade
 8 proprietários

Chile
 4% da capacidade
 5 proprietários

N.Zelândia
 18% da capacidade
 2 proprietários



As soluções “clássicas” não funcionam bem

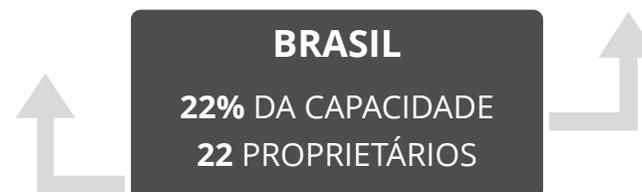


Ignorar a externalidade?

- Implementar um mercado de eletricidade “clássico”, ignorando as cascatas hidrelétricas
- Isto normalmente resultará em uma operação **subótima** da cascata, mesmo em um mercado competitivo (sem poder de mercado)
- O contraponto é que os agentes em uma mesma cascata podem **negociar bilateralmente** para internalizar externalidades (Teorema de Coase)
- Contra-contraponto: o Teorema de Coase exige custos de transação **nulos** – entre 22 agentes (!?)

Consórcio controlador da cascata?

- Forçar fusões e aquisições (ou consórcios) para que cada cascata tenha um único controlador
- O agente tomador de decisão “enxerga” a cascata como um todo, ele “internaliza” as externalidades – logo, suas escolhas no mercado competitivo são em linha com a operação ótima
- Porém, exige considerar que um agente controlador da cascata do Paraná não terá poder de mercado (!?)



Como funciona o mecanismo de RV?



1. O operador continua a fazer a operação da cascata **física** (decisões $u_i \in \mathcal{U}_i$)
2. Porém, a operação **agregada** do reservatório virtual não está mais sob o controle do operador, e sim dos agentes **ofertantes de reservatório virtual**, que submetem ofertas $w_a \in \mathcal{W}_a$
3. O operador **deve** operar o reservatório virtual como um todo de acordo com a diretriz das ofertas apresentadas, $\sum_a w_a$ – mas pode usar seus próprios critérios para “distribuir” entre hidrelétricas físicas
4. As ofertas w_a são capazes de incorporar **informação descentralizada** sobre o valor da água
5. O “direito de propriedade” é **distribuído** entre os agentes – tende a mitigar poder de mercado

Um exemplo intuitivo (1/5)



Exemplo do problema do operador com um único submercado, sem vertimento



Reservatórios físicos das hidrelétricas (Hm3)			Reservatórios virtuais dos agentes	
 $\rho_1: 2$	 $\rho_2: 4$	 $\rho_3: 1$	 A	 B
40	50	40	120	200
+	+	+	+	+
10	10	30	60	30

Um exemplo intuitivo (2/5)



Após incorporar os ρ , a soma das quantidades físicas e virtuais em cada linha deve ser igual



Reservatórios físicos das hidrelétricas (GWh)			Reservatórios virtuais dos agentes	
 $\rho_1:2$	 $\rho_2:4$	 $\rho_3:1$	 A	 B
80	200	40	120	200
+	+	+	+	+
20	40	30	60	30

Um exemplo intuitivo (3/5)



Ofertas dos agentes definem o turbinamento virtual, que por sua vez é proporcional à receita de venda



Reservatórios físicos das hidrelétricas			Reservatórios virtuais dos agentes	
 $\rho_1:2$	 $\rho_2:4$	 $\rho_3:1$	 A	 B
80	200	40	120	200
+	+	+	+	+
20	40	30	60	30
			-	-
			90	20
			=	=
			90	210

Um exemplo intuitivo (4/5)



O operador do sistema desagrega esse turbinamento virtual em turbinamentos físicos



Reservatórios físicos das hidrelétricas			Reservatórios virtuais dos agentes	
 $\rho_1:2$	 $\rho_2:4$	 $\rho_3:1$	 A	 B
80	200	40	120	200
+	+	+	+	+
20	40	30	60	30
-	-	-	-	-
0	80	30	90	20
=	=	=	=	=
100	160	40	90	210



Um exemplo intuitivo (5/5)



A alocação dos volumes virtuais varia com o tempo (mas não a alocação das afluências)



Reservatórios físicos das hidrelétricas		
$\rho_1:2$ 	$\rho_2:4$ 	$\rho_3:1$
80	200	40
+	+	+
20	40	30
-	-	-
0	80	30
=	=	=
100	160	40

Reservatórios virtuais dos agentes	
120	200
+	+
60	30
-	-
90	20
=	=
90	210

META II FORMAÇÃO DE PREÇO



Website :

www.meta2formacaodepreco.com.br



Palestrante

Edvaldo Santana



4.2 Mergulhando nos reservatórios virtuais



Não é suficiente resolver um caso particular!



O sistema hidrelétrico é mais complexo do que isso **na prática** – precisamos endereçar!

Conversão complexa água-energia: $\rho(u, v)$ e cascatas

Compatibilidade com desenho de mercado “clássico”

Particularidades de representação e critério de “desempate”

Reservatórios virtuais que não coincidem com zonas de preço de energia

Compatibilidade com outros tipos de oferta (inclusive hidrelétricas fora do MRE)

Restrições hídricas e responsabilização

Cascatas que cruzam a fronteira de reservatórios virtuais

Compatibilidade com liquidação dupla

Restrições de operação da hidrelétrica física

Tratamento do vertimento

Mecanismo robusto a erros de medição e conciliações

Revisões nos parâmetros do sistema (fator de produção, novas usinas, etc)

Princípios chave



PROBLEMA “HÍBRIDO”

Problema de otimização com dois conjuntos de dados de entrada

FUNÇÕES AUXILIARES

Formas sistemáticas de converter dados físicos em dados de reservatórios virtuais

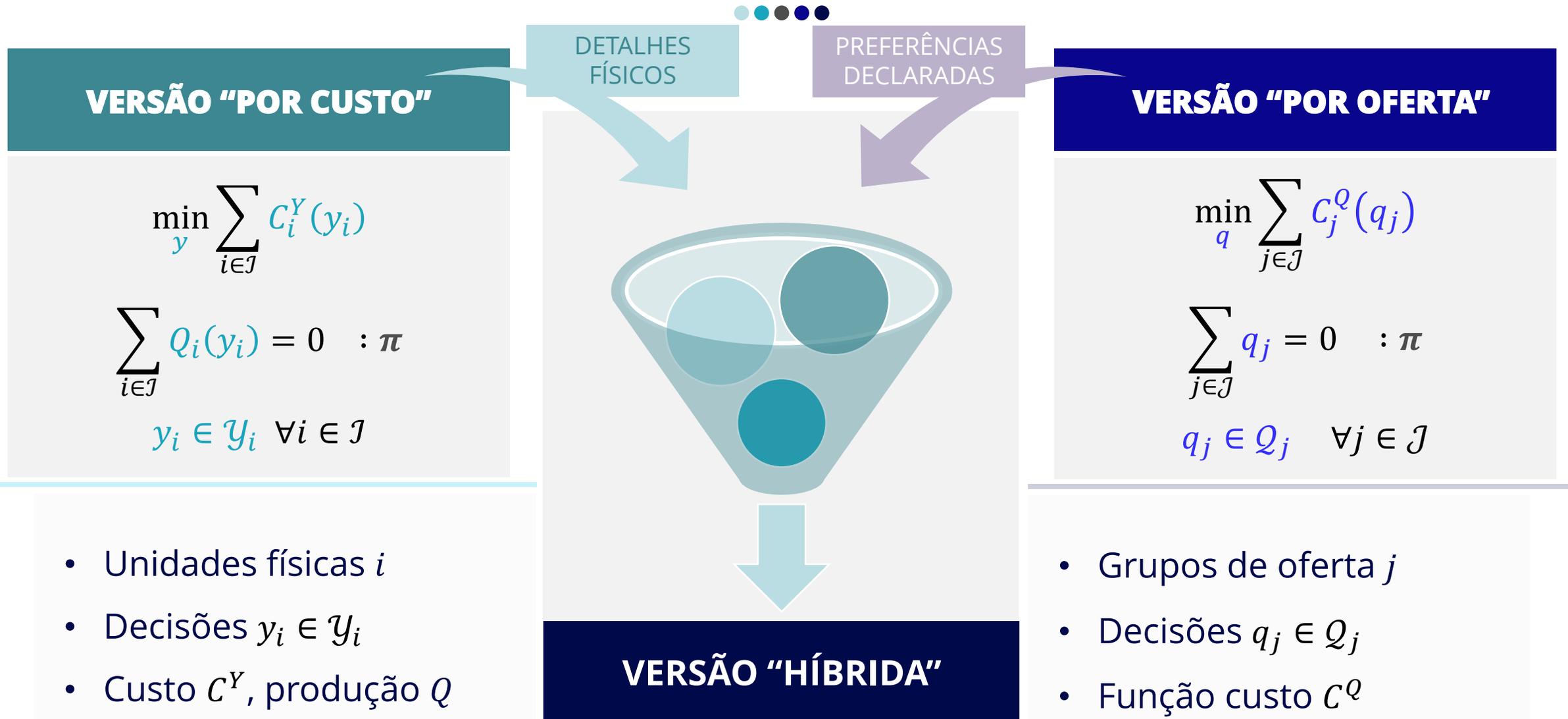
PAPEIS DA HIDRELÉTRICA

Construção de fluxos financeiros (pós-processamento) com sinais de preço compatíveis

TRANSPARÊNCIA

Regras do jogo precisam estar claras – autonomia dos agentes e riscos do negócio

Problema híbrido



Problema híbrido



VERSÃO "POR CUSTO"

$$\min_y \sum_{i \in \mathcal{J}} C_i^Y(y_i)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{J}} Q_i(y_i) = 0 \quad : \pi$$

$$y_i \in \mathcal{Y}_i \quad \forall i \in \mathcal{J}$$

- Unidades físicas i
- Decisões $y_i \in \mathcal{Y}_i$
- Custo C^Y , produção Q

VERSÃO "HÍBRIDA"

$$\min_{y,q} \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^Q(q_j) + \underbrace{\epsilon \sum_{i \in \mathcal{J}} C_i^Y(y_i)}_{\text{"desempate"}}$$

$$\sum_{i \in \mathcal{J}} Q_i(y_i) = 0 \quad : \pi$$

$$y_i \in \mathcal{Y}_i \quad \forall i \in \mathcal{J}, \quad q_j \in \mathcal{Q}_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

$$\sum_{i \in \mathcal{J}(j)} Q_i(y_i) = q_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

VERSÃO "POR OFERTA"

$$\min_q \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^Q(q_j)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} q_j = 0 \quad : \pi$$

$$q_j \in \mathcal{Q}_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

- Grupos de oferta j
- Decisões $q_j \in \mathcal{Q}_j$
- Função custo C^Q

Problema híbrido: "clássico" VS "RV"



VERSÃO "HÍBRIDA CLÁSSICA"

$$\min_{y, q} \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^Q(q_j) + \epsilon \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^Y(y_i)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} Q_i(y_i) = 0 \quad : \pi$$

$$y_i \in \mathcal{Y}_i \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad q_j \in \mathcal{Q}_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}(j)} Q_i(y_i) = q_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

VERSÃO "HÍBRIDA RV"

$$\min_{y, w} \sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \\ a \in \mathcal{A}(r)}} C_{ra}^W(w_{ra}) + \epsilon \sum_{i \in \mathcal{I}} \tilde{C}_i^Y(y_i)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} Q_i(y_i) = 0 \quad : \pi$$

$$y_i \in \mathcal{Y}_i \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad w_a \in \mathcal{W}_a \quad \forall a \in \mathcal{A}$$

$$W_r^0(\{y_i\}_{i \in \mathcal{I}}) = \sum_{a \in \mathcal{A}(r)} w_{ra} \quad \forall r \in \mathcal{R}$$

Problema híbrido: “clássico” VS “RV”



Restrições de **compatibilidade físico-virtual** VS o problema híbrido “clássico”:

- Representa uma agregação de **todos os agentes** atuantes em um reservatório virtual
- Função de agregação W^0 considera **volumes** (diferente da função de produção)
- Função de agregação W^0 considera **cascatas** (“enxerga” **todas** as hidrelétricas)

Versão “híbrida clássica”

$$\sum_{i \in \mathcal{I}(j)} Q_i(y_i) = q_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

Versão “híbrida RV”

$$W_r^0(\{y_i\}_{i \in \mathcal{I}}) = \sum_{a \in \mathcal{A}(r)} w_{ra} \quad \forall r \in \mathcal{R}$$

Funções auxiliares



As seguintes funções são **suficientes** para descrever totalmente o mecanismo

Descrição da função	Caso simples ($c, \rho, u_{max}, u, a, s$)	Notação	Onde é usada
Função de produção hidrelétrica	$\rho \cdot u$	$Q_i(y_i)$	Subproblema
Função de agregação de volumes	$\rho \cdot v$	$W_r^V(\{y_i\}_{i \in J})$	Subproblema
Função custo de O&M hidrelétrico	$c \cdot \rho \cdot u$	$C_i^Y(y_i)$	Subproblema (\tilde{C}_i^Y)
Função desempate	0	$\epsilon \Phi^A(\{y_i\}_{i \in J})$	Subproblema (\tilde{C}_i^Y)

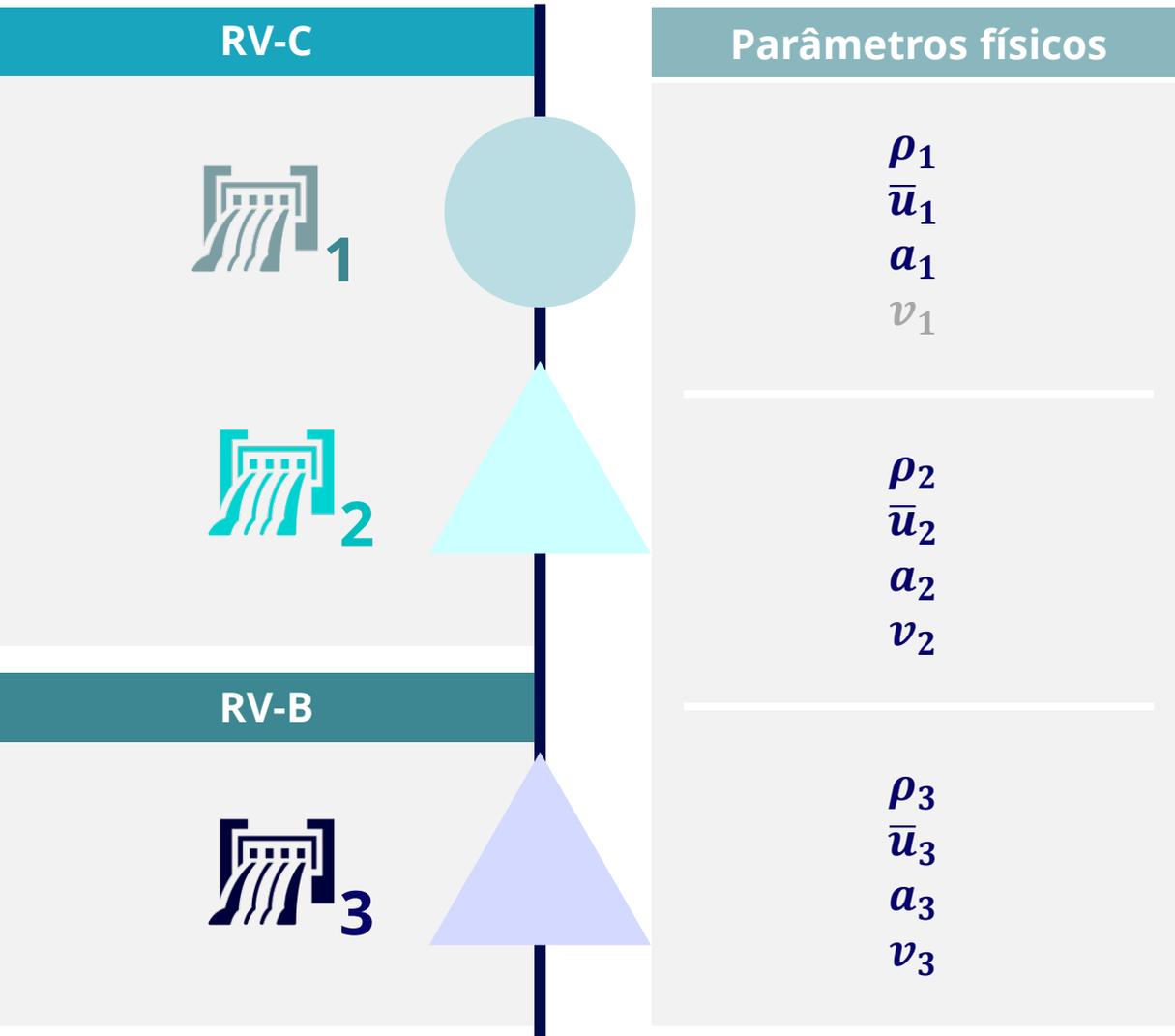
Funções auxiliares



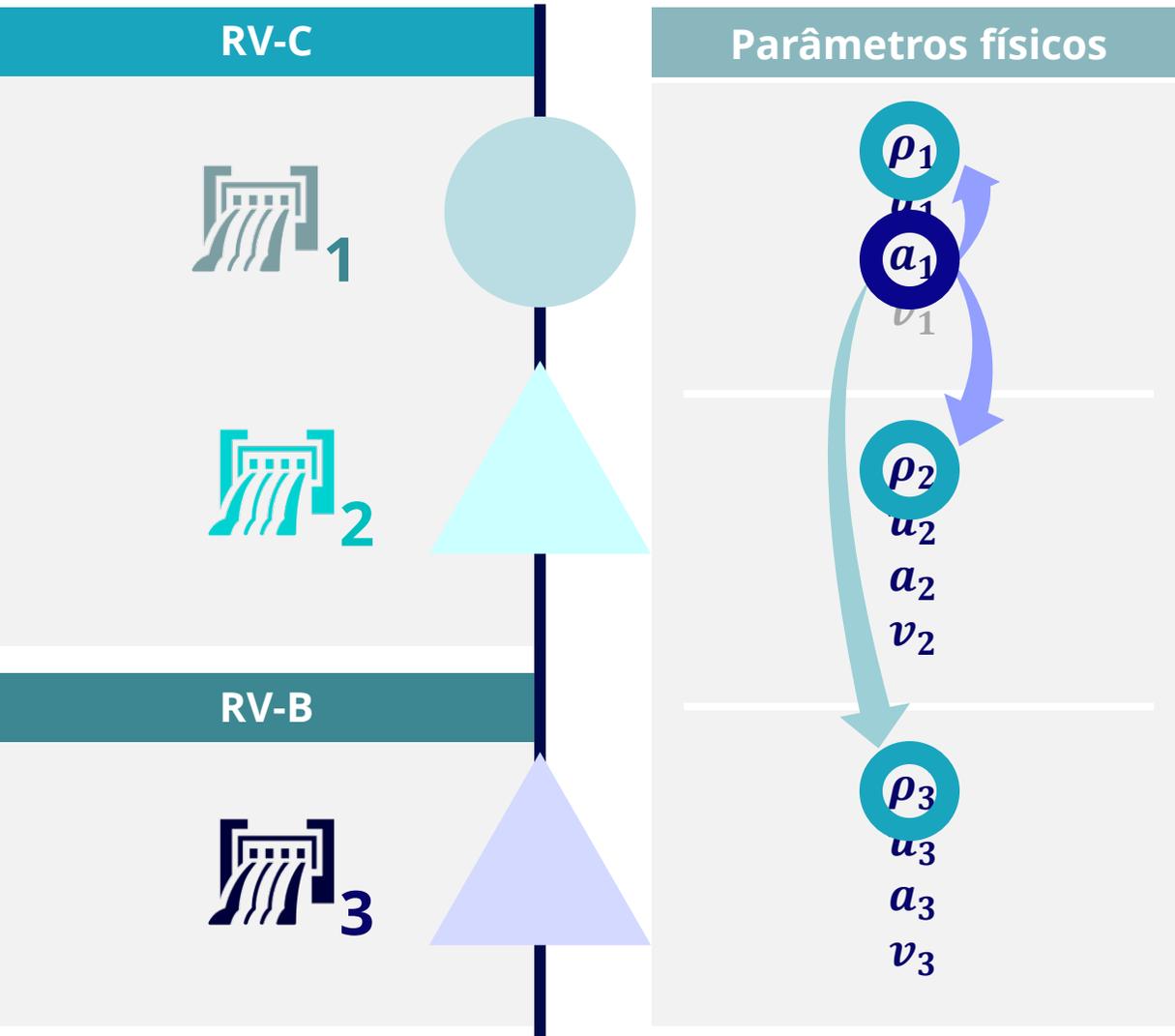
As seguintes funções são **suficientes** para descrever totalmente o mecanismo

Descrição da função	Caso simples ($c, \rho, u_{max}, u, a, s$)	Notação	Onde é usada
Função de produção hidrelétrica	$\rho \cdot u$	$Q_i(y_i)$	Subproblema
Função de agregação de volumes	$\rho \cdot v$	$W_r^V(\{y_i\}_{i \in J})$	Subproblema
Função custo de O&M hidrelétrico	$c \cdot \rho \cdot u$	$C_i^Y(y_i)$	Subproblema (\tilde{C}_i^Y)
Função desempate	0	$\epsilon \Phi^A(\{y_i\}_{i \in J})$	Subproblema (\tilde{C}_i^Y)
Função energia vertida turbinável	$\rho \cdot (s - (a - \min\{a, u_{max}\}))$	$S_i(y_i)$	Pós-processamento
Função de agregação de afluências	$\rho \cdot \min\{a, u_{max}\}$	$W_r^A(\{y_i\}_{i \in J})$	Pré-processamento

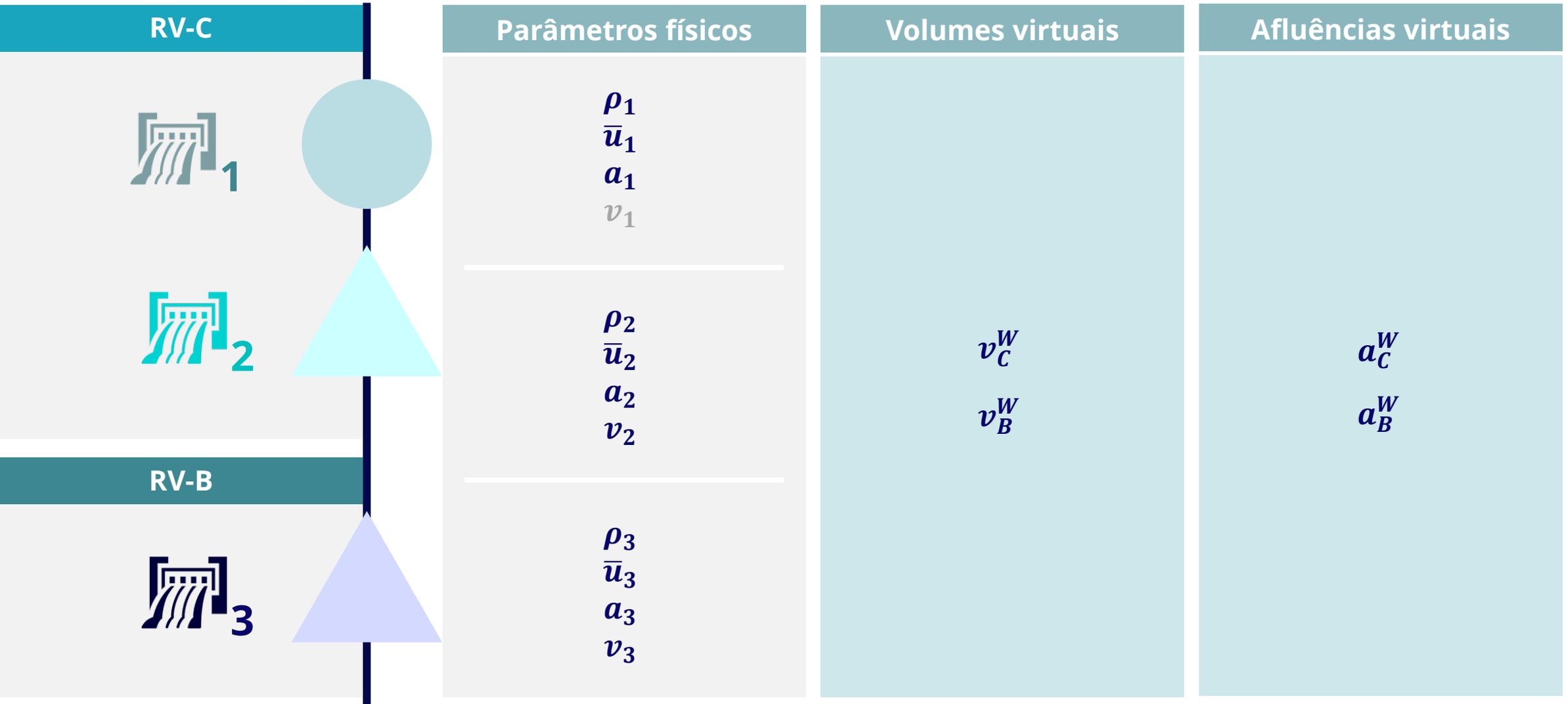
Funções auxiliares: exemplo



Funções auxiliares: exemplo



Funções auxiliares: exemplo



Papeis da hidrelétrica



COTISTA DE AFLUÊNCIAS

Proporcionalmente às suas **cotas de participação**

Assume o **risco hidrológico** (participação nas afluências)

Receitas em linha com direitos históricos, **sem distorcer incentivos**

GESTOR DE CONTA DE RESERVATÓRIO VIRTUAL

Submete ofertas e tem nível de reservatório virtual atualizado

Assume o **risco de mercado** (previsão lucro presente VS futuro)

Recebe pelas **ofertas aceitas** e remunera O&M das hidrelétricas

PROPRIETÁRIO DE HIDRELÉTRICA FÍSICA

Informa o operador sobre sua curva de produção e restrições operativas

Assume **risco** apenas em caso de diferença entre parâmetros reais e os de **referência**

É remunerada pelo seu custo de O&M e por **aumento de eficiência**

Papeis da hidrelétrica



COTISTA DE AFLUÊNCIAS

R^A : componente financeira remanescente

R^H : responsabilização por restrição hídrica

GESTOR DE CONTA DE RESERVATÓRIO VIRTUAL

R^W : proporcional a w , comercialização de RV

R^V : responsabilização por energia vertida turbinável

PROPRIETÁRIO DE HIDRELÉTRICA FÍSICA

R^C : custo de O&M

R^U : bônus de desempenho

Papeis da hidrelétrica



COTISTA DE
AFLUÊNCIAS

$$\frac{\gamma_{ra}^A}{\sum_{a \in \mathcal{A}(r)} \gamma_{ra}^A} \cdot \Delta_r$$

$$\frac{\gamma_{ra}^A}{\sum_{a \in \mathcal{A}(r)} \gamma_{ra}^A} \cdot H_k \cdot \xi_k$$

GESTOR DE CONTA DE
RESERVATÓRIO VIRTUAL

$$\left[\mu_r - \frac{\sum_{i \in \mathcal{J}^R(r)} C_i^H(y_i)}{\sum_{a \in \mathcal{A}(r)} W_{ra}} \right] \cdot W_{ra}$$

$$-\frac{W_{ra}}{\sum_{a \in \mathcal{A}(r)} W_{ra}} \sum_i \pi_{n(i)} S_i(y_i)$$

PROPRIETÁRIO DE
HIDRELÉTRICA FÍSICA

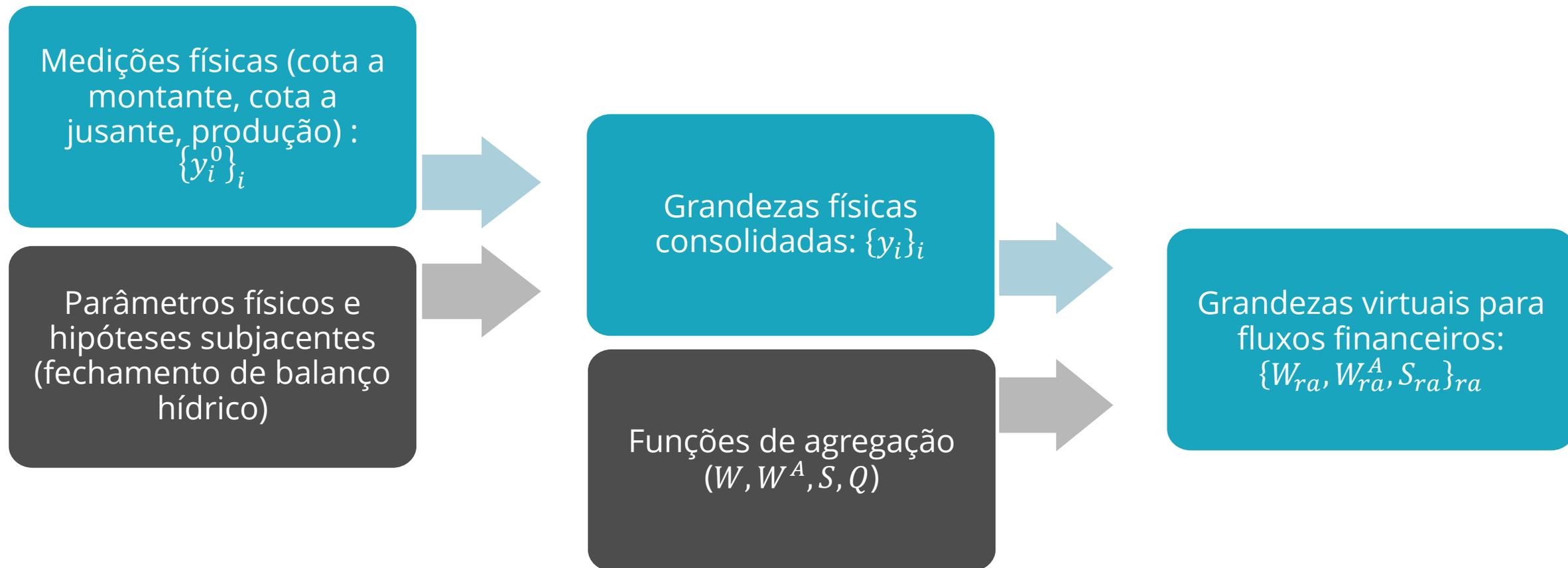
$$C_i^H(y_i)$$

$$\pi_{n(i)} \cdot [q_i - Q_i(y_i)]$$

Transparência: processo de medição



Agentes que aceitarem participar do mecanismo de RV devem entender o **processo** para chegar aos resultados de fluxos financeiros – minimizar espaço para questionamentos



Transparência: função "curva-guia"



Representação dos reservatórios virtuais na **função objetivo**:

$$z = [\text{ofertas de RV}] + [\text{custo de O\&M}] + [\text{"desempate"}]$$

Transparência: função "curva-guia"



Representação dos reservatórios virtuais na **função objetivo**:

$$z = \underbrace{\sum_{\substack{r \in \mathcal{R} \\ a \in \mathcal{A}(r)}} c_{ra}^W(w_{ra})}_{\text{ofertas de RV}} + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{J}^W} c_i^Y(y_i)}_{\text{custo de O\&M}} + \underbrace{\epsilon \cdot \Phi^A(\{y_i\}_{i \in \mathcal{J}^W})}_{\text{"desempate"}}$$

A componente Φ^A em princípio pode ser escolhida livremente pelo operador, **desde que** comunicada de forma transparente

Vale destacar também que as ofertas w_{ra} são **diárias** (é vatanjoso deixar que o operador faça a desagregação intradiária com os y_i)

Transparência, transparência, transparência



PROBLEMA
“HÍBRIDO”

FUNÇÕES
AUXILIARES

PAPEIS DA
HIDRELÉTRICA

TRANSPARÊNCIA

A **transparência** é a diretriz de implementação mais importante – no restante do projeto, vamos continuar a explorar **qualitativamente** e **quantitativamente** a proposta.

Apresentamos as principais componentes que tornam a proposta de reservatório virtual algo **robusto** e de ampla aplicabilidade.

O mecanismo é **compatível** com tudo o que foi apresentado nos blocos anteriores deste workshop:

- Ofertas “tradicionais” convivem com ofertas de reservatório virtual
- O fluxo financeiro agregado não depende de quais hidrelétricas estão dentro ou fora do mecanismo de RV: $\pi \cdot \sum_{i \in J} Q_i(u_i)$
- A liquidação dupla permanece aplicável (afluências previstas no dia seguinte + medições ex post de geração e afluência)

META II FORMAÇÃO DE PREÇO



Website :

www.meta2formacaodepreco.com.br



Palestrante
Gabriel Cunha