# PROGRAMAÇÃO HIDROTÉRMICA DE CURTO PRAZO PARA SISTEMAS REAIS DE BASE HIDRÁULICA

**Problema H-T** (formulação geral):

$$\min \;\; F_T(\mathbf{P}_T) + F_H(\mathbf{V}_{j_{\max}})$$

s. a:

$$\left.\begin{array}{l}
\text{- } \textit{Eqs. de balanço hídrico} \\
\text{- } \textit{Atendimento à demanda} \\
\\
\text{- } \textit{Restrições de limites:} \\
\begin{array}{ccccc}
\underline{\mathbf{P}}_{T,j} & \leq & \mathbf{P}_{T,j} & \leq & \overline{\mathbf{P}}_{T,j} \\
\underline{\mathbf{V}}_j & \leq & \mathbf{V}_j & \leq & \overline{\mathbf{V}}_j \\
\underline{\mathbf{q}}_j & \leq & \mathbf{q}_j & \leq & \overline{\mathbf{q}}_j \\
0 & \leq & \mathbf{u}_j & &
\end{array}
\end{array}\right\} \; j = 1, \ldots, j_{\max}$$

## **Programação de Curto Prazo para atender Metas de Volume**:

- Segundo esta estratégia, procura-se minimizar o desvio do armazenamento de cada reservatório $i$ ao final do período, $V_{i,j_{\max}}$, em relação à meta de volume estabelecida para o mesmo, $V_{i_{Meta}}$;
- Para tal, a *função de metas de volume*, $F_{MV}$, é definida como a soma ponderada dos quadrados dos desvios das metas de cada reservatório:

$$F_{MV}(\mathbf{V}_{j_{\max}}) = \sum_{i=1}^{N_H} \xi_i \; (V_{i,j_{\max}} - V_{i_{Meta}})^2$$

- A função de metas de volume é adicionada ao custo térmico para formar a função-objetivo a ser minimizada.

Formulação:

$$\min \quad F_T(\mathbf{P}_T) + F_{MV}(\mathbf{V}_{j_{\max}})$$

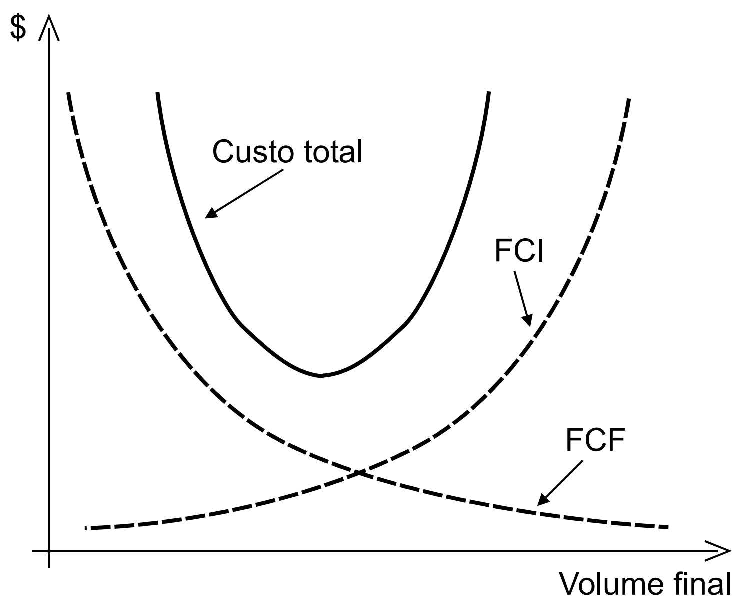
s. a:

$$\left.\begin{array}{l}
\text{- \textit{Eq. de balanço de pot.}} \\
\quad \text{\textit{c/. repres. da rede no interv. j}} \\
\\
\text{- \textit{Restrições de limites:}} \\
\begin{array}{ccccc}
\underline{\mathbf{f}} & \le & \mathbf{f}_j & \le & \overline{\mathbf{f}} \\
\underline{\mathbf{P}}_{T,j} & \le & \mathbf{P}_{T,j} & \le & \overline{\mathbf{P}}_{T,j} \\
\underline{\mathbf{V}}_j & \le & \mathbf{V}_j & \le & \overline{\mathbf{V}}_j \\
\underline{\mathbf{q}}_j & \le & \mathbf{q}_j & \le & \overline{\mathbf{q}}_j \\
0 & \le & \mathbf{u}_j & &
\end{array}
\end{array}\right\} \quad j = 1, \ldots, j_{\max}$$

- *Equações de balanço hídrico para todos os intervs. de tempo*

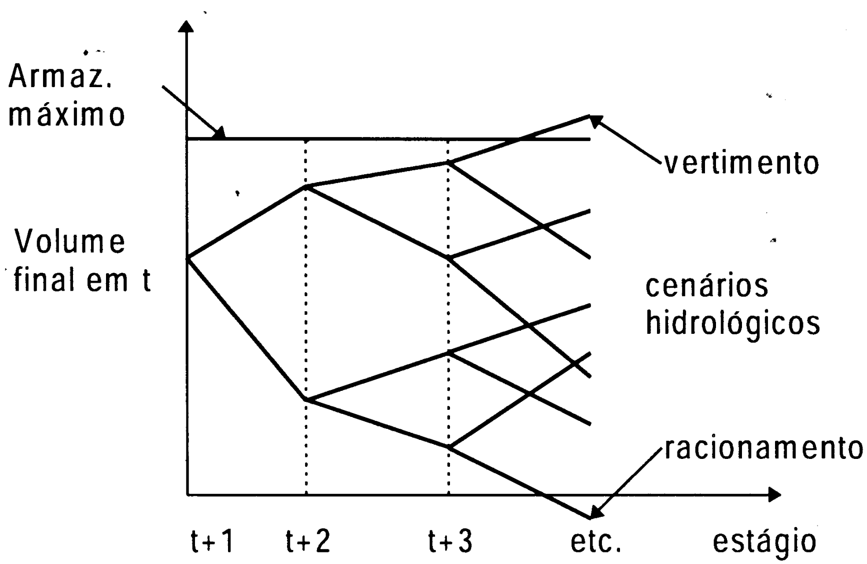
## **Progr. Curto Prazo Considerando Custo Futuro**:

- Benefício *imediato* do uso da água no presente $\times$ benefício *futuro* de seu armazenamento;
- Este último é medido em termos da economia no uso do combustível pelas térmicas desde o final do horizonte de curto prazo até o final do horizonte total de estudo;



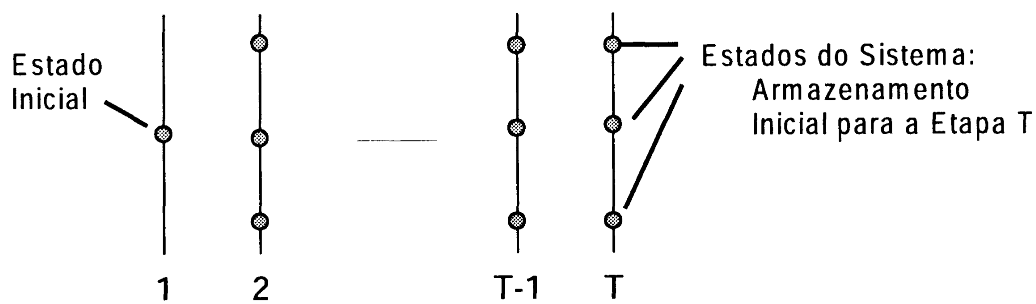
## Função de Custo Futuro - Aspectos Conceituais:

- Calculada mediante *simulações operativas* do sistema, para cada nível de armazenamento no final do horizonte de estudo;
- Simulações probabilísticas, usando grande número de cenários hidrológicos.



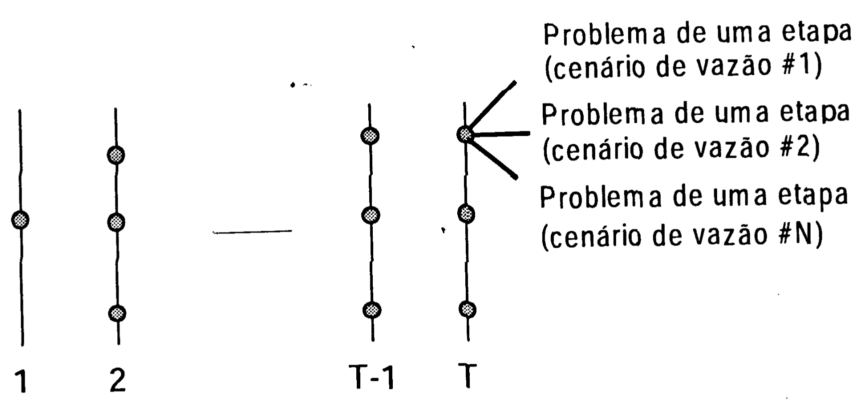
Obtenção da **FCF** na Prática (1)

- **FCF** é calculada através de procedimento recursivo de *Programação Dinâmica Estocástica;*
- Para cada estágio *k* (tipicamente 1 mês), define-se um conjunto de *estados do sistema,* que são os níveis de armazenamento de $100\%,\ 90\%, \ldots, 0\%$;
- O armazenamento inicial do primeiro estágio é conhecido.



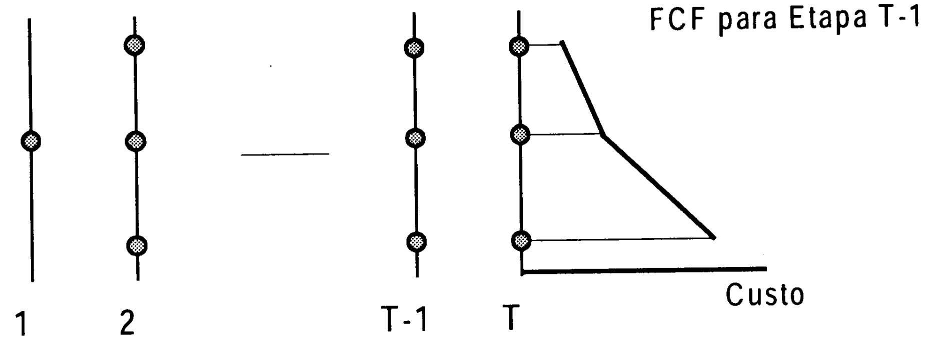
## Obtenção da **FCF** na Prática (2)

- O Processo inicia-se no último estágio, $T$, resolvendo-se o **Problema H-T** *para cada estado do sistema;*
- Como se trata do último estágio, a **FCF** é considerada *nula* *(*$F_H(\mathbf{V}_{j_{\max}}) = 0)$*;*
- Para cada estado de armazenamento, resolve-se o **Problema H-T** para cada um dos $N$ cenários de vazões para o estágio $T$ :



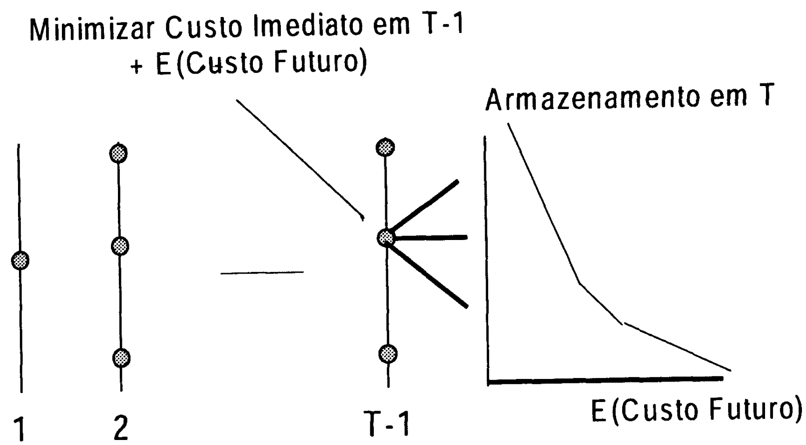
## Obtenção da **FCF** na Prática (3)

- Calcula-se o *custo esperado* associado a um dado nível de armazenamento como a *média* dos custos dos $N$ subproblemas resolvidos para este nível;
- Isto fornece o primeiro ponto da **FCF** para a etapa $T-1$, que chamaremos $\alpha_T(v_T)$;
- O cálculo é repetido para os demais estados do estágio $T$,
- Faz-se a interpolação para os custos intermediários, produzindo a **FCF** da etapa $T-1$ :



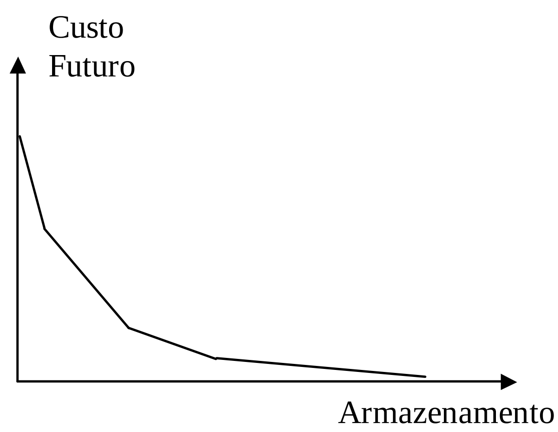
## Obtenção da **FCF** na Prática (4)

- O processo é repetido para todos os estados de armazenamento das etapas $T-1,\ T-2, \ldots,\ 2$;
- Em uma dada etapa $k$, resolve-se o **Problema H-T** com $F_H(\mathbf{V}_{j_{\max}}) = \alpha_k(v_k)$, onde $\alpha_k(v_k)$ é a **FCF** da etapa $k$;
- Para $k = T-1$, por exemplo:



## Função de Custo Futuro - Resumo:

- **FCF** sintetizada no horizonte de médio prazo via simulações de diversos cenários de operação futura, definidos por níveis de armazenamento e de vazões afluentes.




$$\alpha_j(V_j) = \min \; \alpha$$

s.a.

$$\alpha \geq C_{C_{k,j}} - \sum_{\ell=1}^{n_H} C_{V_{k,\ell,j}} \, V_{\ell,j} \;, \quad i = 1, \ldots, n_C$$

Formulação completa do **Problema H-T com FCF**:

$$\min \quad F_T(\mathbf{P}_T) + \alpha$$

s. a:

$$\left.\begin{array}{l}
\text{- Eq. de balanço de pot. com} \\
\text{repres. da rede no interv. } j \\
\text{- Restrições de limites:} \\
\begin{array}{ccccc}
\underline{\mathbf{f}} & \leq & \mathbf{f}_j & \leq & \overline{\mathbf{f}} \\
\underline{\mathbf{P}}_{T,j} & \leq & \mathbf{P}_{T,j} & \leq & \overline{\mathbf{P}}_{T,j} \\
\underline{\mathbf{V}}_j & \leq & \mathbf{V}_j & \leq & \overline{\mathbf{V}}_j \\
\underline{\mathbf{q}}_j & \leq & \mathbf{q}_j & \leq & \overline{\mathbf{q}}_j \\
0 & \leq & \mathbf{u}_j & &
\end{array}
\end{array}\right\} \quad j = 1, \ldots, j_{\max}$$

- *Equações de balanço hídrico para todos os intervs. de tempo*

$$\alpha \geq C_{C_{k,j}} - \sum_{\ell=1}^{n_H} C_{V_{k,\ell,j}} V_{\ell,j} \; , \quad i = 1, \ldots, n_C$$