



**ISEL**

# Anteprojecto

# Minihídrica



Ponte Nova



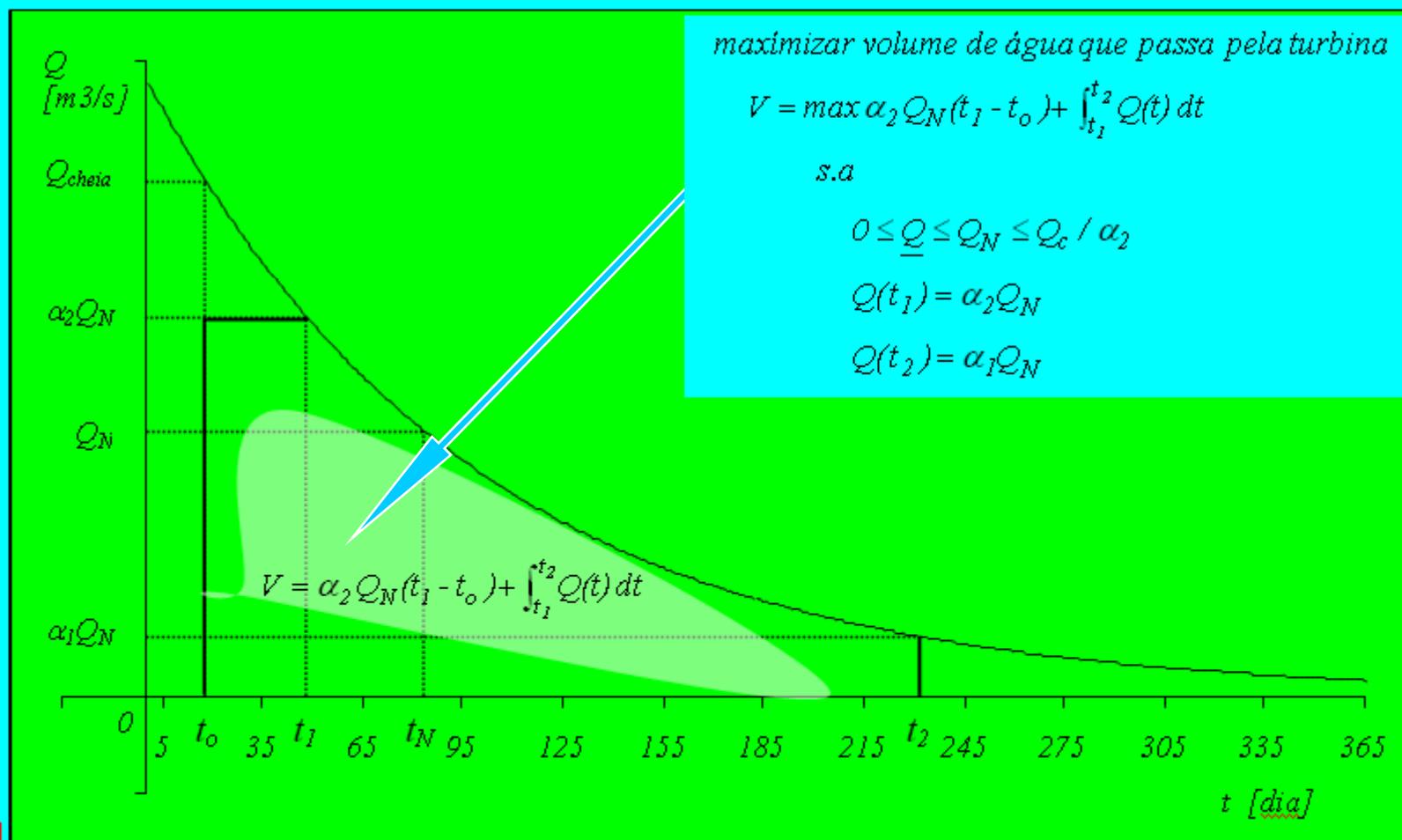
Paredes



### Uma turbina

volume de água que passa pela turbina

$$V = \alpha_2 Q_N (t_1 - t_0) + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad [m^3]$$



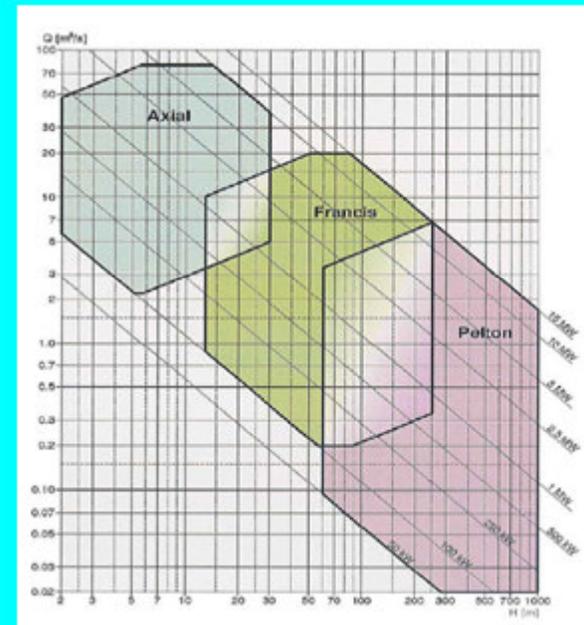


# ISEL

## DEEA SECÇÃO DE ECONOMIA E GESTÃO

Um aproveitamento hídrico com uma queda bruta de 6.35 m e curva de duração dos caudais anuais indicada por  $Q(t)$ , com  $t$  em dias, tem 11 dias por ano de queda insuficiente devido a cheia.

$$Q(t) = 25e^{-t/\tau} \text{ com } \tau = 100[\text{dia}]$$



Caudais admissíveis em pu's de  $Q_N$

Pelton [0.1 a 0.2, 1.15]

Francis [0.3 a 0.4, 1.15]

Kaplan (axial) com dupla regulação [0.25; 1.25]

Kaplan com rotor regulado [0.4, 1.0]

Kaplan com distribuidor regulado [0.75, 1.0]

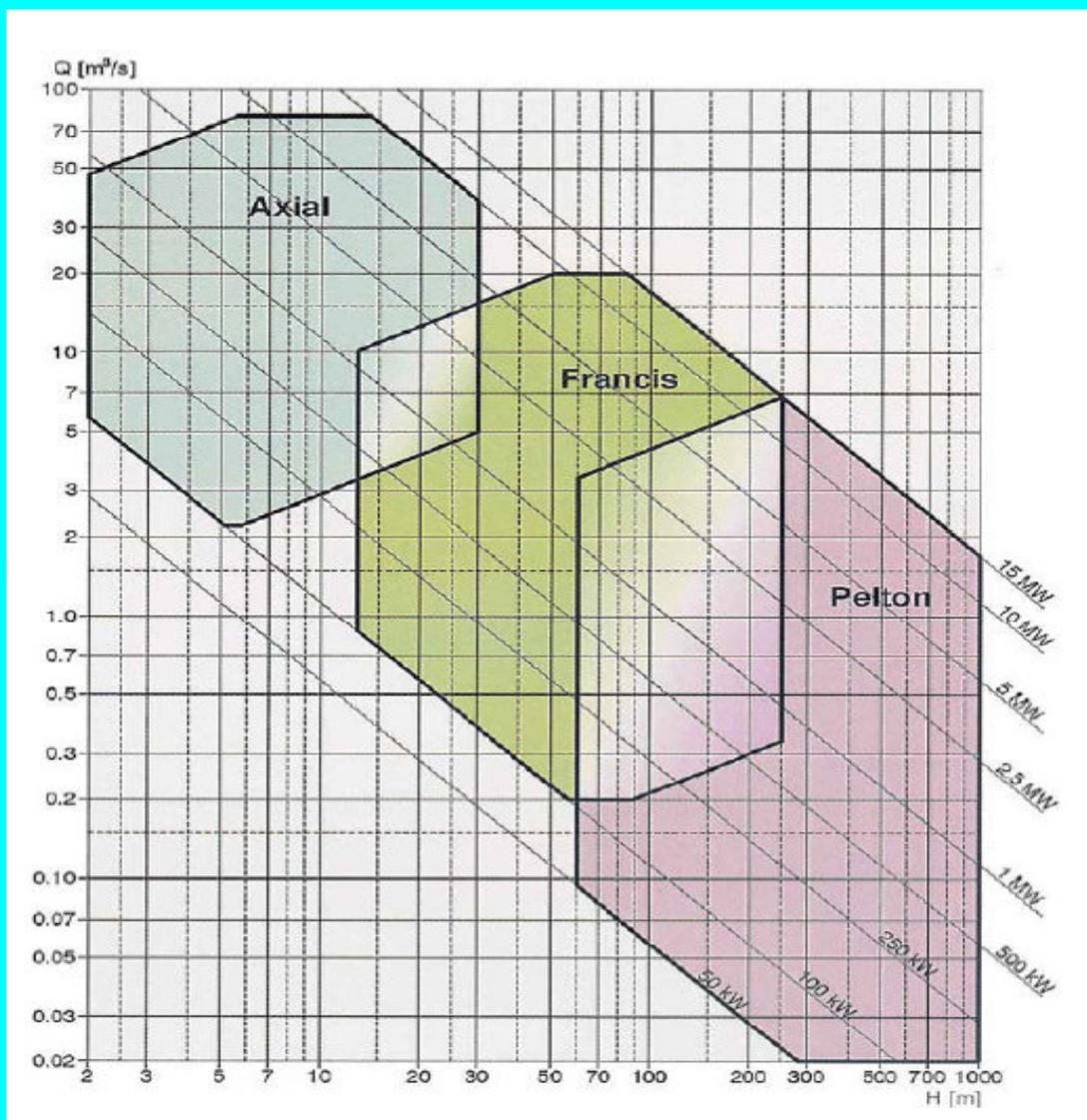


### Problema

O aproveitamento está em anteprojecto de uma CMH com uma única turbina.

a) Escolher a turbina aconselhável de acordo com gráfico indicado na figura.

b) Estimar a potência nominal e a máxima energia anual.





**ISEL**

DEEA SECÇÃO DE ECONOMIA E GESTÃO

**Solução:**

Como a queda bruta é de 6.35 m, então a turbina será uma turbina axial, i.e., Kaplan. Pelo que existem três hipóteses: dupla regulação [0.25, 1.25], rotor regulado [0.4, 1.0], distribuidor regulado [0.75, 1.0].





Energia anual

$$E_a = 168 H_b [(t_1 - t_0) \alpha_2 Q_N + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt] \quad (7 \times 24 = 168)$$

sendo

$$\alpha_2 Q_N = 25 e^{-t_1/100} \quad \alpha_1 Q_N = 25 e^{-t_2/100}$$

como

$$\int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt = -2500 [e^{-t/100}]_{t_1}^{t_2} = 100(\alpha_2 - \alpha_1) Q_N$$

logo

$$E_a = 168 H_b [(t_1 - t_0) \alpha_2 + 100(\alpha_2 - \alpha_1)] Q_N$$

ou ainda

$$E_a = 168 H_b [100(\ln 25 + \alpha_2 - \alpha_1) - \alpha_2 t_0 - 100 \alpha_2 \ln(\alpha_2 Q_N)] Q_N.$$



Portanto o problema de programação matemática para determinar o valor máximo é

$$\max E_a = 168H_b [100(\ln 25 + \alpha_2 - \alpha_1) - \alpha_2 t_0 - 100\alpha_2 \ln(\alpha_2 Q_N)] Q_N$$

sa

$$0 \leq Q_N \leq Q_C / \alpha_2$$

O maior valor para a energia determinará a solução . . .



## **Anteprojecto com duas turbinas**

Não existe justificação económica na maioria dos casos para que sejam instaladas mais de duas turbinas.

Consequentemente tem que se considerar duas situações:

- i) Turbinas diferentes
- ii) Turbinas iguais



*Anteprojecto óptimo : determinar  $Q_{N1}$  e  $Q_{N2}$  para  
maximizar o volume de água que passa pela turbina.*

*Considerar as seguintes duas hipóteses de anteprojecto*

$$i) \quad \alpha_{22} Q_{N2} \leq \alpha_{11} Q_{N1} + \alpha_{21} Q_{N2}$$

$$ii) \quad \alpha_{22} Q_{N2} \geq \alpha_{11} Q_{N1} + \alpha_{21} Q_{N2}$$

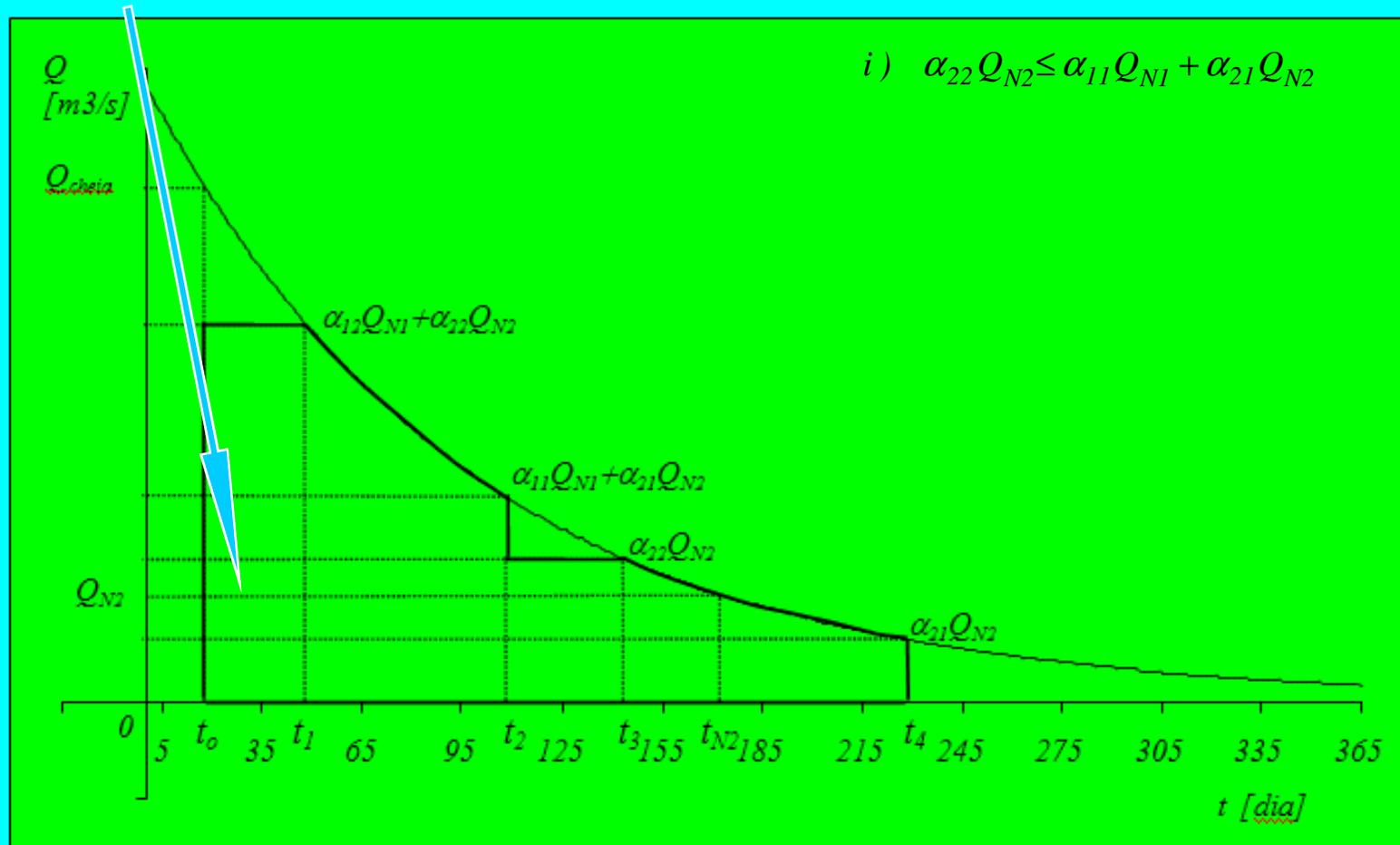
*Escolhendo a mais favorável*



# Duas turbinas

Volume de água turbinado

$$V = (\alpha_{12}Q_{N1} + \alpha_{22}Q_{N2})(t_1 - t_0) + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt + \alpha_{22}Q_{N2}(t_3 - t_2) + \int_{t_3}^{t_4} Q(t) dt$$





i) Determinar  $Q_{N1}$  e  $Q_{N2}$  para maximizar o volume de água que passa pela turbina

$$V = \max ( \alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2} )(t_1 - t_0 ) + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt + \alpha_{22} Q_{N2}(t_3 - t_2 ) + \int_{t_3}^{t_4} Q(t) dt$$

s.a

$$\alpha_{22} Q_{N2} \leq \alpha_{11} Q_{N1} + \alpha_{21} Q_{N2}$$

$$0 \leq \underline{Q} \leq \alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2} \leq Q_c$$

$$Q(t_1) = \alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2}$$

$$Q(t_2) = \alpha_{11} Q_{N1} + \alpha_{21} Q_{N2}$$

$$Q(t_3) = \alpha_{22} Q_{N2}$$

$$Q(t_4) = \alpha_{21} Q_{N2}$$

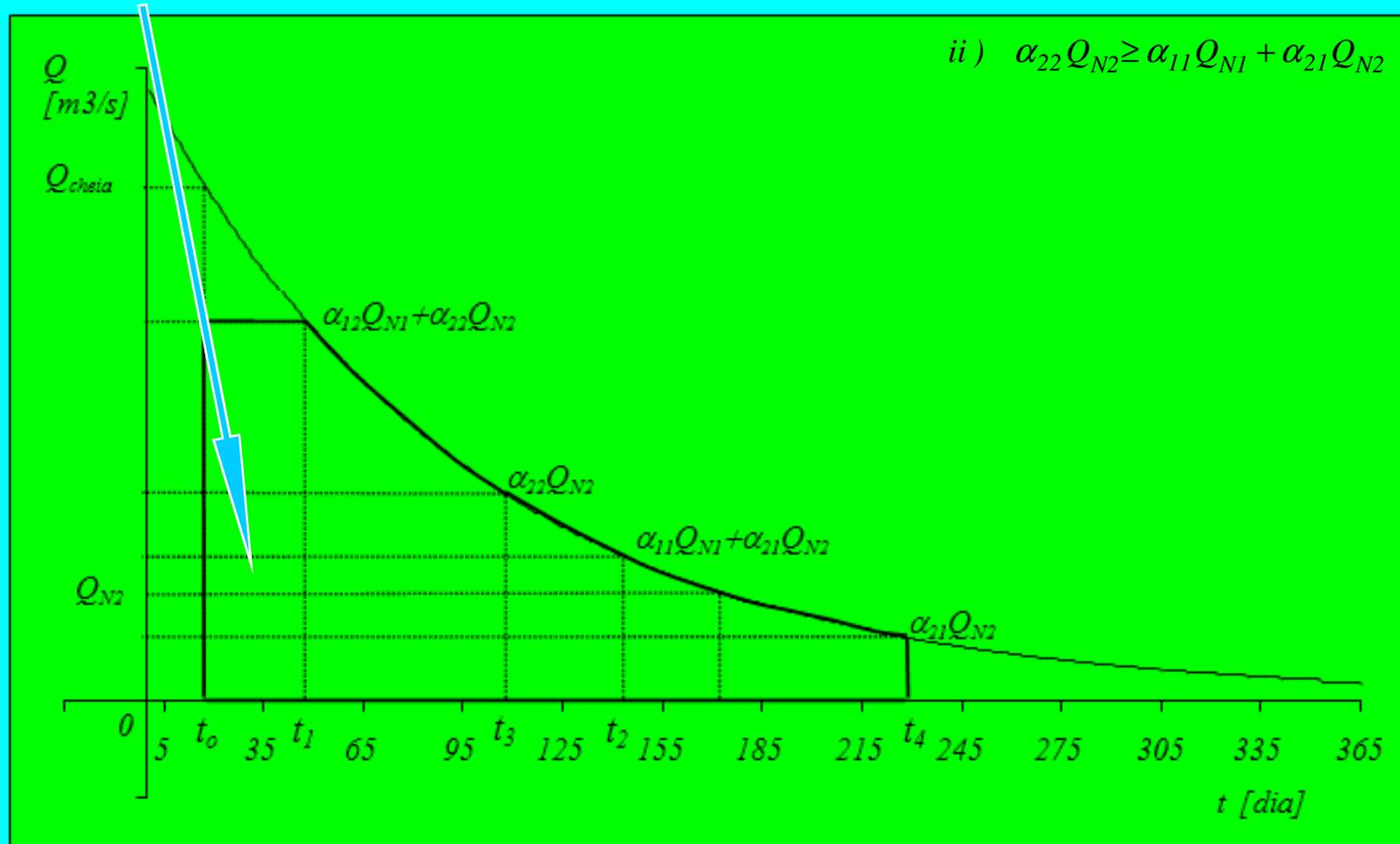
$$0 \leq \underline{Q} \leq Q_{N2}, Q_{N1}$$





# Duas turbinas

$$V = (\alpha_{12}Q_{N1} + \alpha_{22}Q_{N2})(t_1 - t_0) + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt$$





ii) Determinar  $Q_{N1}$  e  $Q_{N2}$  para  
maximizar o volume de água que passa pela turbina

$$V = \max(\alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2})(t_1 - t_0) + \int_{t_1}^{t_4} Q(t) dt$$

s.a

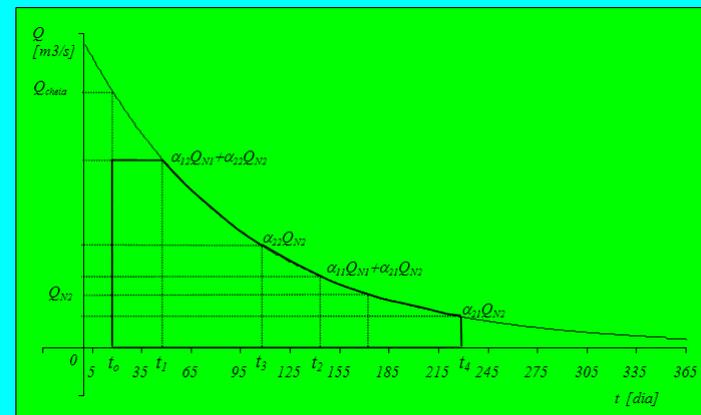
$$\alpha_{22} Q_{N2} \geq \alpha_{11} Q_{N1} + \alpha_{21} Q_{N2}$$

$$0 \leq \underline{Q} \leq \alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2} \leq Q_c$$

$$Q(t_1) = \alpha_{12} Q_{N1} + \alpha_{22} Q_{N2}$$

$$Q(t_4) = \alpha_{21} Q_{N2}$$

$$0 \leq \underline{Q} \leq Q_{N2}, Q_{N1}$$





Seja por imposição ambas as turbinas iguais. Caso  $\alpha_2 \leq 2\alpha_1$ , anteprojecto optimizado : determinar  $Q_N$  para maximizar o volume de água que passa pela turbina

$$V = \max 2\alpha_2(t_1 - t_o)Q_N + \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt + \alpha_2 Q_N(t_3 - t_2) + \int_{t_3}^{t_4} Q(t) dt$$

s.a

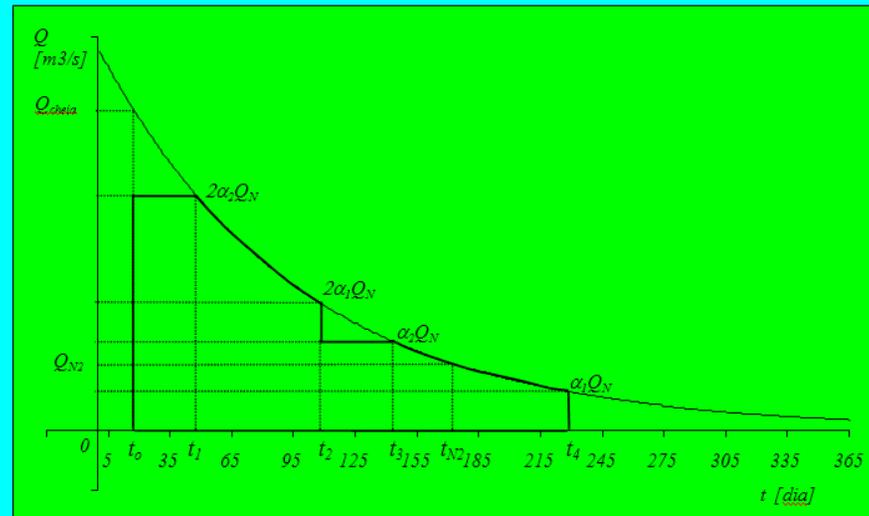
$$0 \leq \underline{Q} \leq 2\alpha_2 Q_N \leq Q_c$$

$$Q(t_1) = 2\alpha_2 Q_N$$

$$Q(t_2) = 2\alpha_1 Q_N$$

$$Q(t_3) = \alpha_2 Q_N$$

$$Q(t_4) = \alpha_1 Q_N$$





*Seja por imposição ambas as turbinas iguais. Caso  $\alpha_2 \geq 2\alpha_1$ , anteprojecto optimizado : determinar  $Q_N$  para maximizar o volume de água que passa pela turbina*

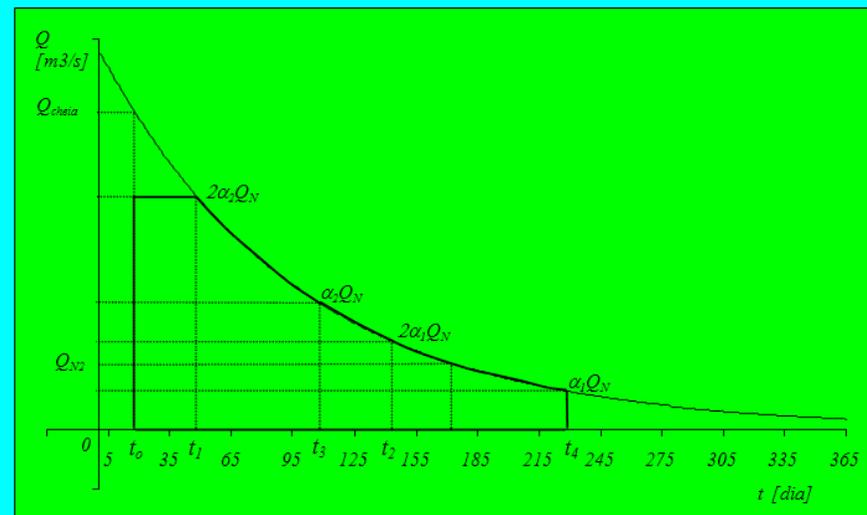
$$V = \max 2\alpha_2(t_1 - t_o)Q_N + \int_{t_1}^{t_4} Q(t) dt$$

*s.a*

$$0 \leq \underline{Q} \leq 2\alpha_2 Q_N \leq Q_c$$

$$Q(t_1) = 2\alpha_2 Q_N$$

$$Q(t_4) = \alpha_1 Q_N$$





**ISEL**

DEEA SECÇÃO DE ECONOMIA E GESTÃO

### **Bibliografia**

#### **Internet**

A guide to UK mini-hydro developments, <http://www.british-hydro.co.uk/download.pdf>  
[http://www.ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/small\\_hydro/guide\\_to\\_env\\_approach\\_to\\_shps.p.pdf](http://www.ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/small_hydro/guide_to_env_approach_to_shps.p.pdf)

#### **Revistas e artigos**

[www.b-on.pt](http://www.b-on.pt): este endereço electrónico tem que ser acedido dentro do ISEL. Pesquisar palavras chaves em Inglês, por exemplo: hydro energy, small hydro energy, hydro turbine, etc.