

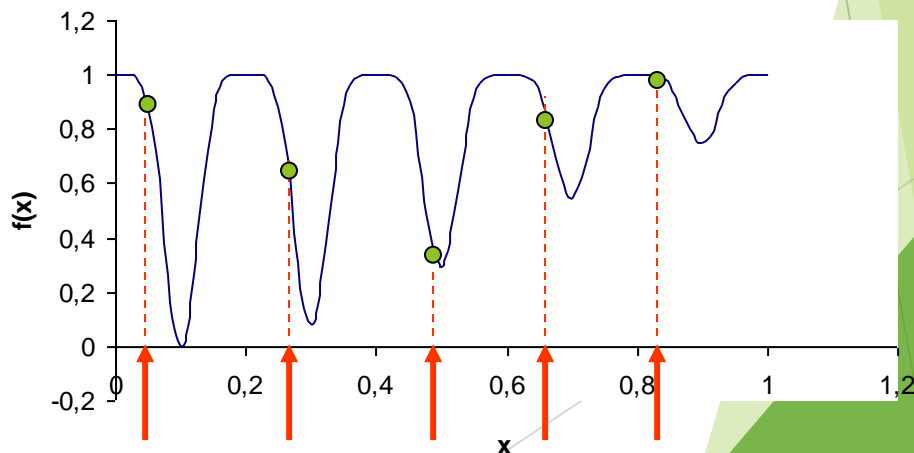
Algoritmos evolutivos

- **Principais conceitos**
- **Algoritmos Genéticos**
- **Exemplos ilustrativos e de aplicação**
- **Utilização do software OTIMIZA**

Computação evolutiva

- ▶ Algoritmos genéticos (AG)
- ▶ Estratégias evolutivas (EE) - Algoritmos Evolutivos (AE)

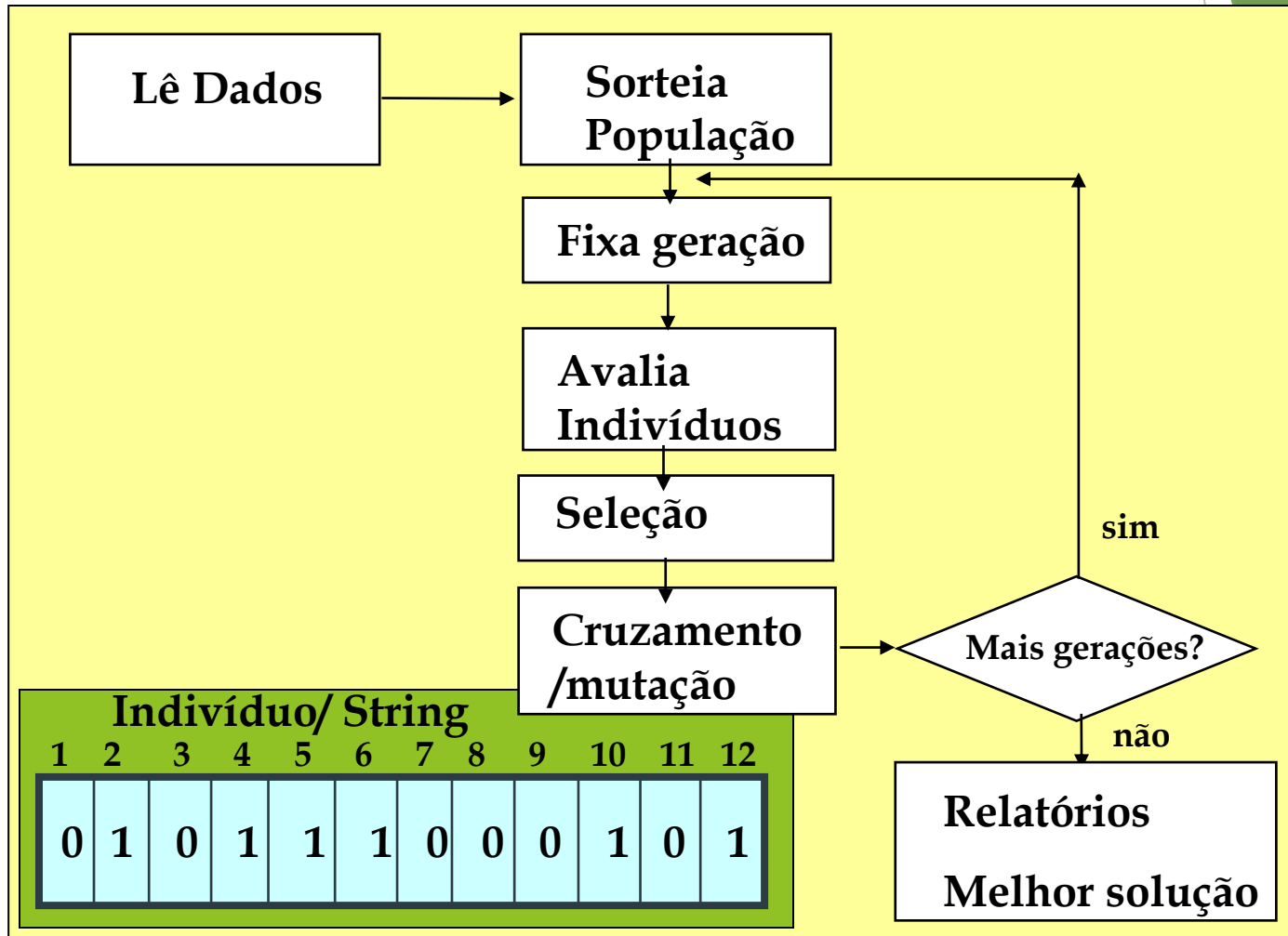
- Indivíduo
- População
- Seleção
- Reprodução
- Mutação



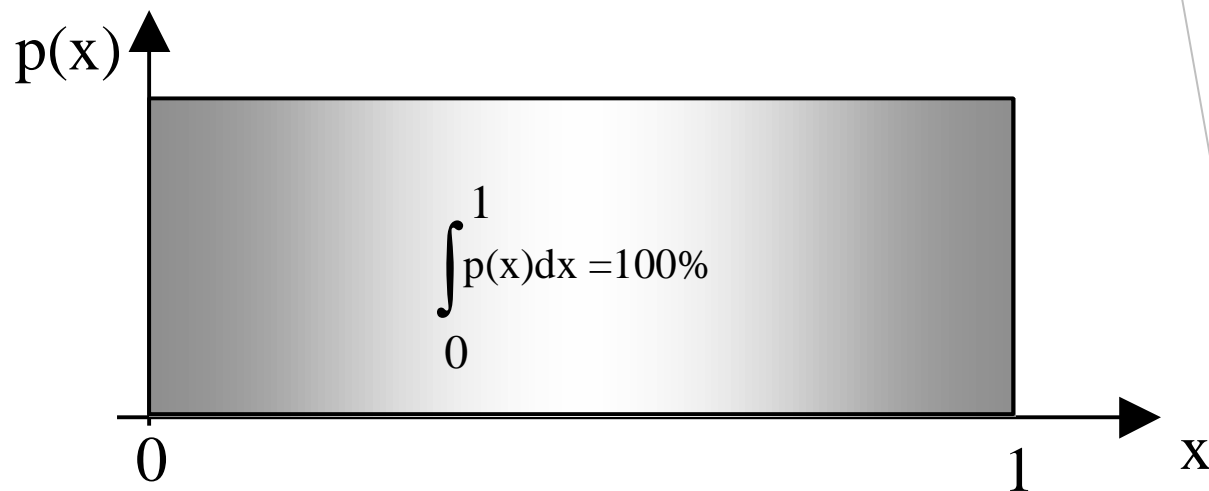
Bases de Algoritmos Genéticos

- Codificação do conjunto de parâmetros
- Desenvolvimento a partir de uma população de soluções alternativas
- Utilização de informação da função objetivo
- Regras de transição probabilísticas para busca no espaço de soluções.

Algoritmo Básico

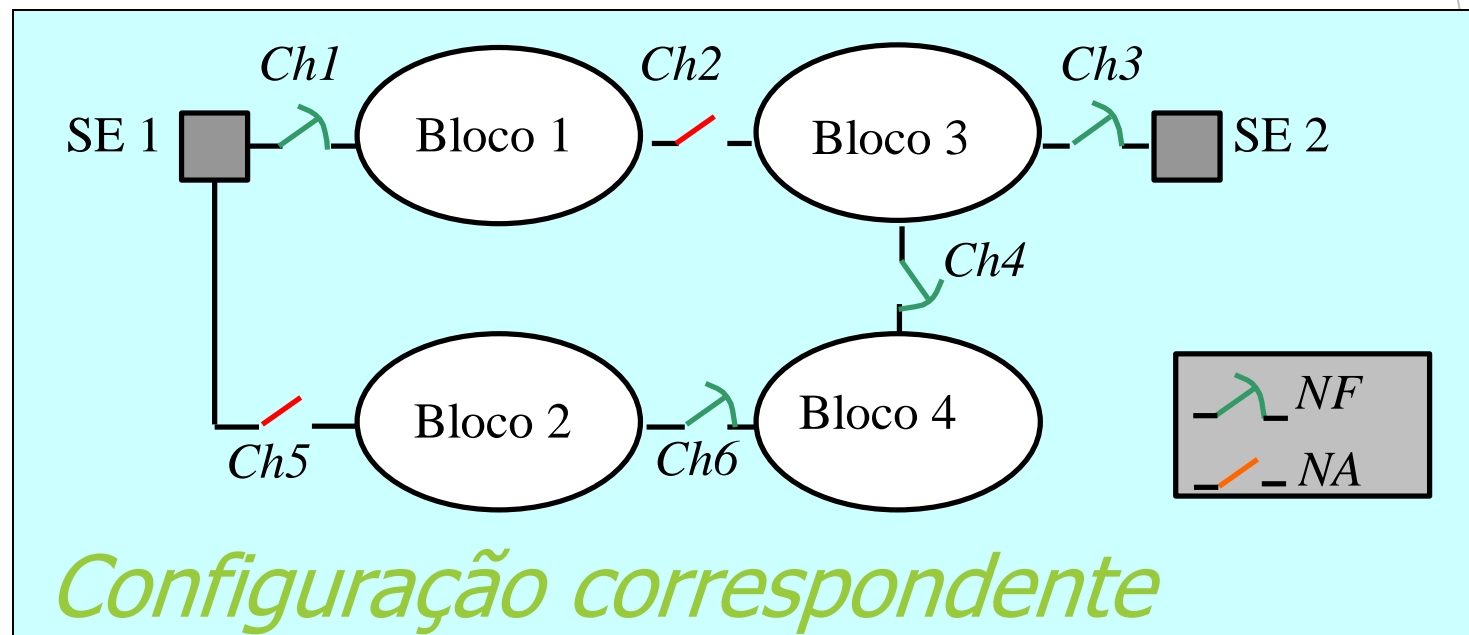


Distribuição uniforme / sorteios

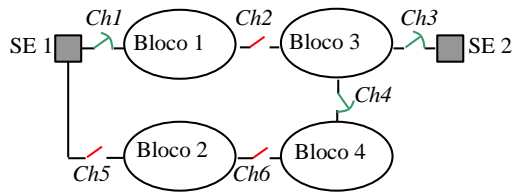


Exemplo - Codificação String

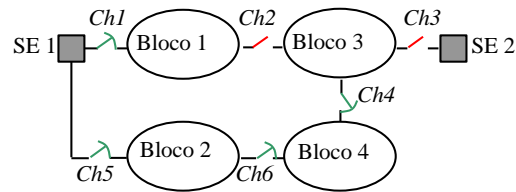
	1	2	3	4	5	6
<i>string</i>	1	0	1	1	0	1



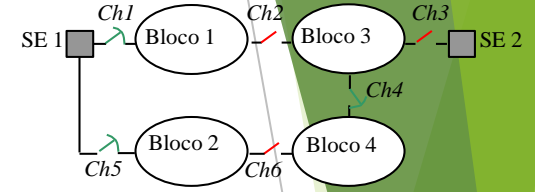
Configurações iniciais - sorteio



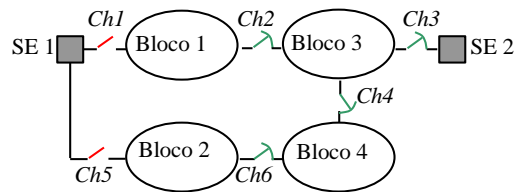
1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	0	1



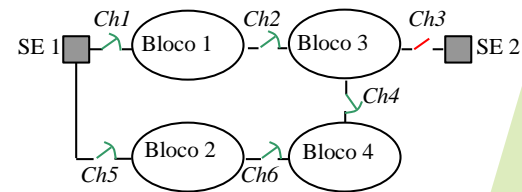
1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	1



1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	0



1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	0	1

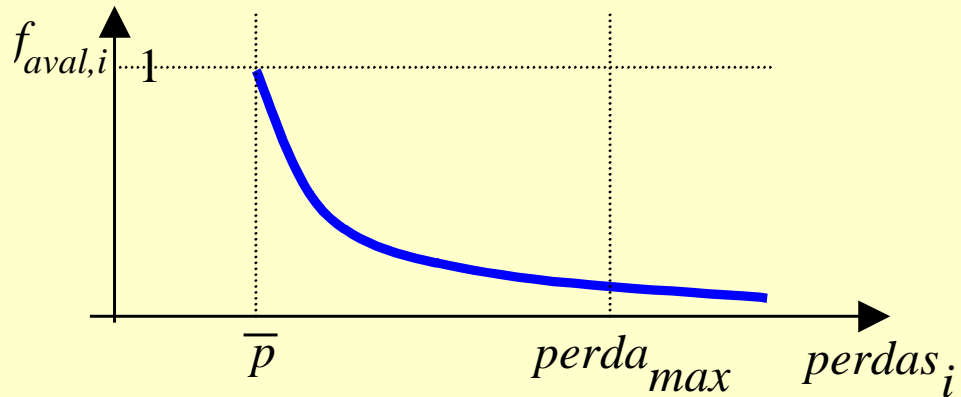


1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	1	1

Função de Avaliação

- ▶ Exemplo sem restrições:

$$f_{aval,i} = \frac{\bar{p}}{perdas_i}$$



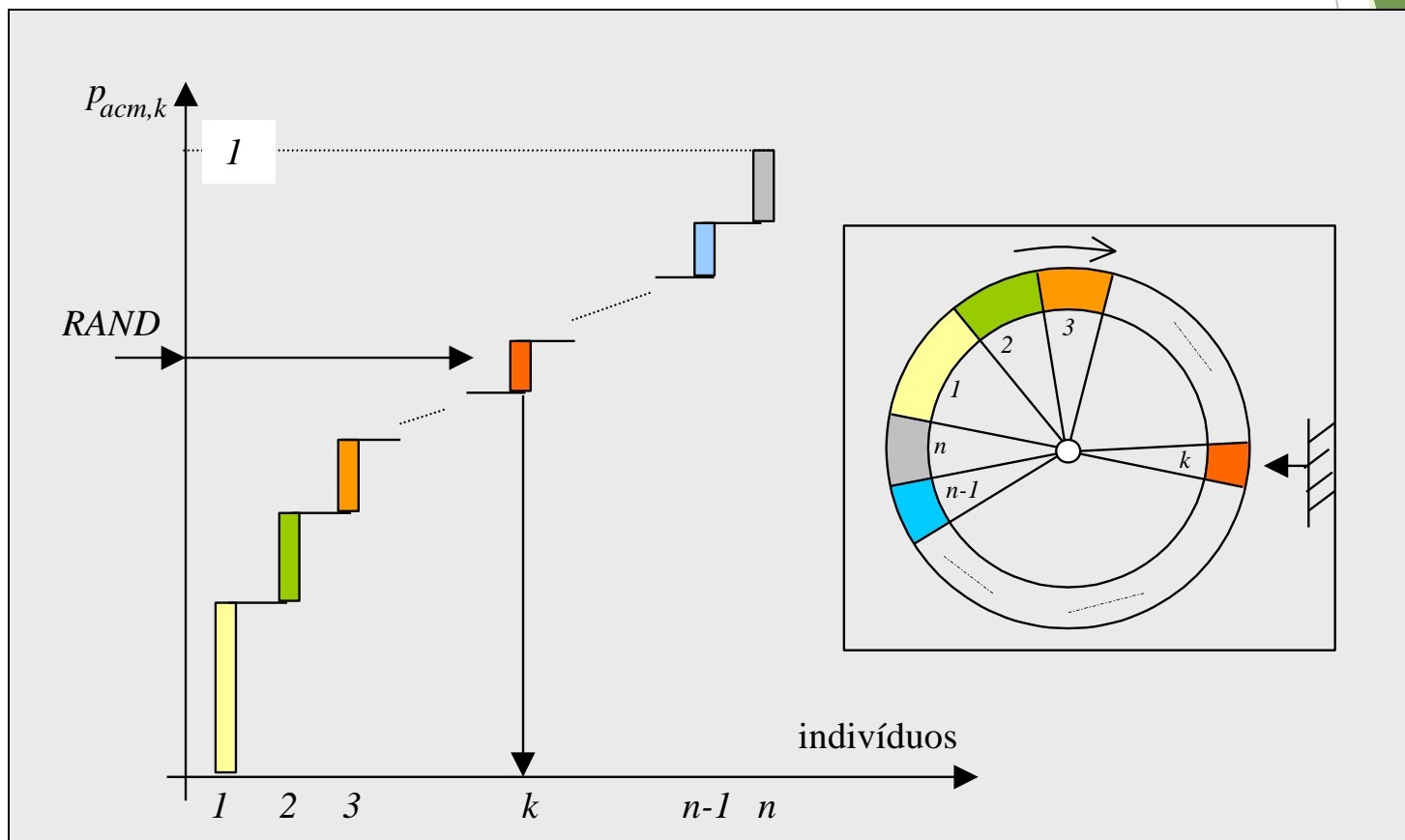
- ▶ com restrições:

$$f_{aval,i} = \frac{\bar{p}}{perdas_i + r.Penal_i}$$

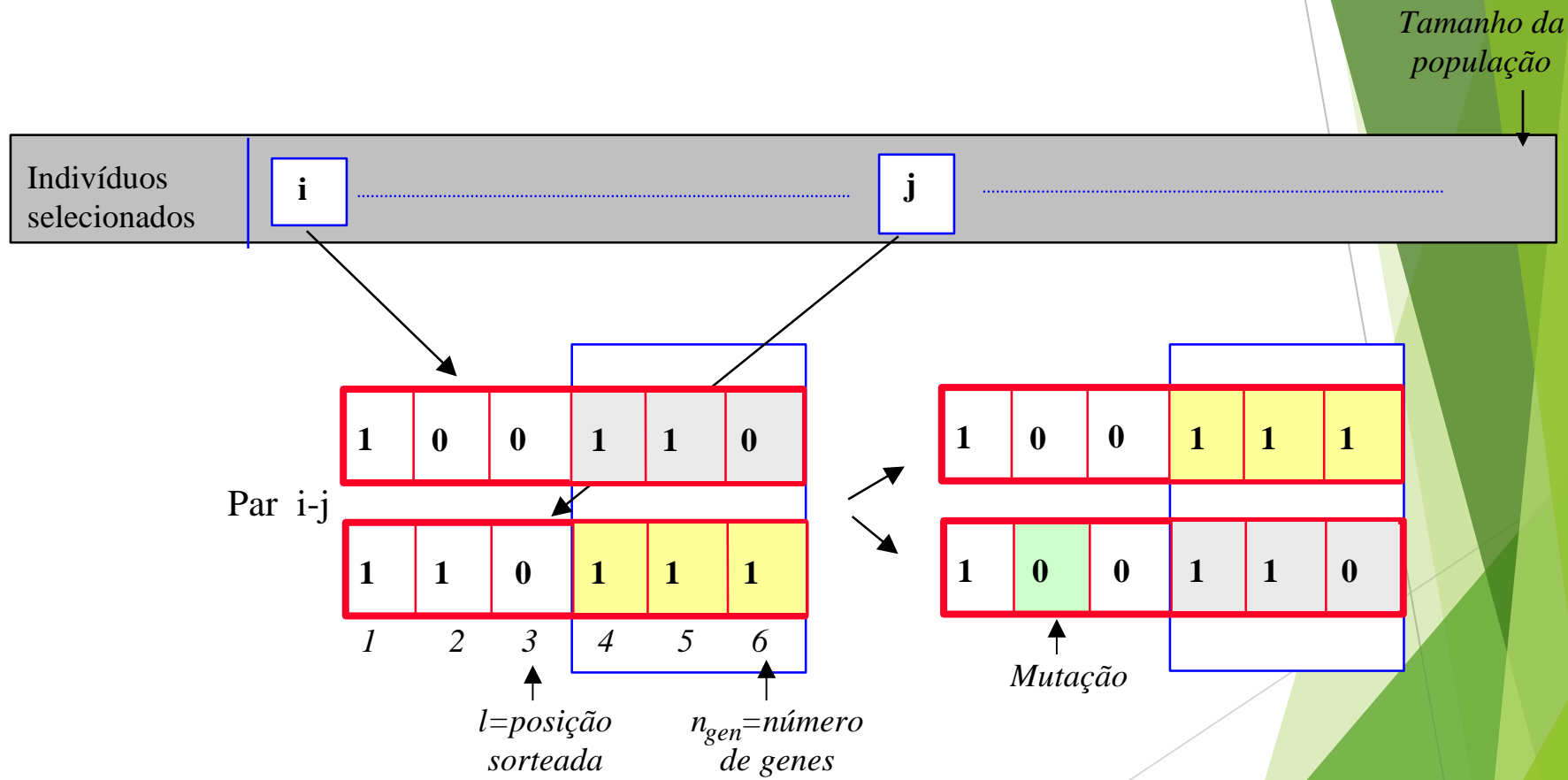
$$Penal_i = \sum_{j=1}^n \left\{ \max \left[0, h_j(\mathbf{x}) \right] \right\}^k$$

Reprodução / seleção

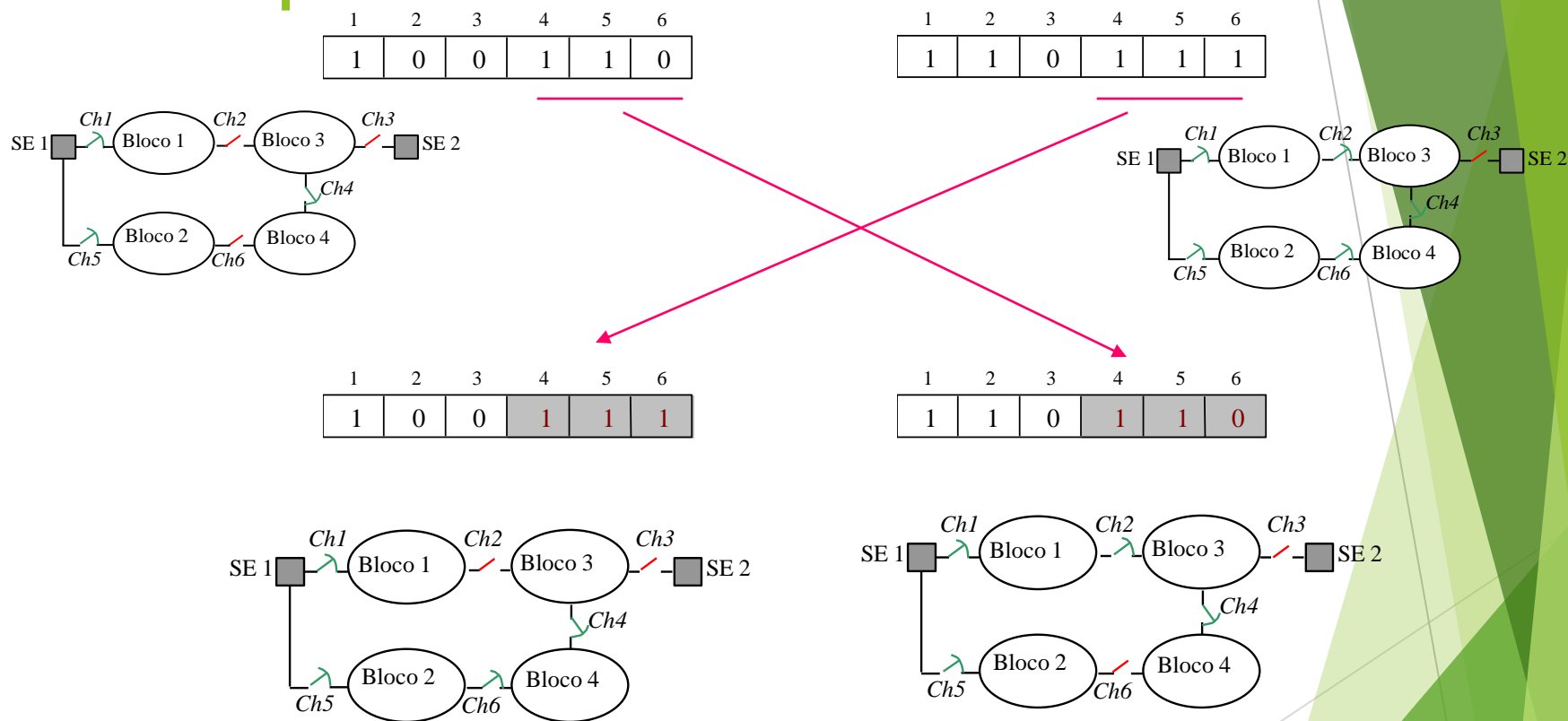
Método da roleta:



Cruzamento e Mutação

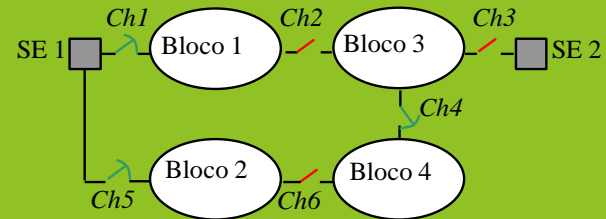


Cruzamento na população - exemplo

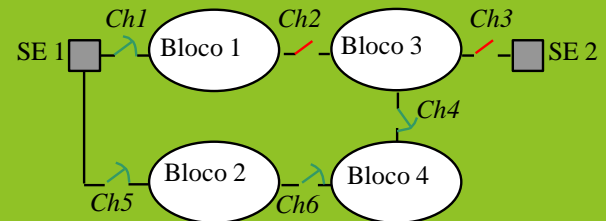


Mutação do indivíduo 3 (exemplo)

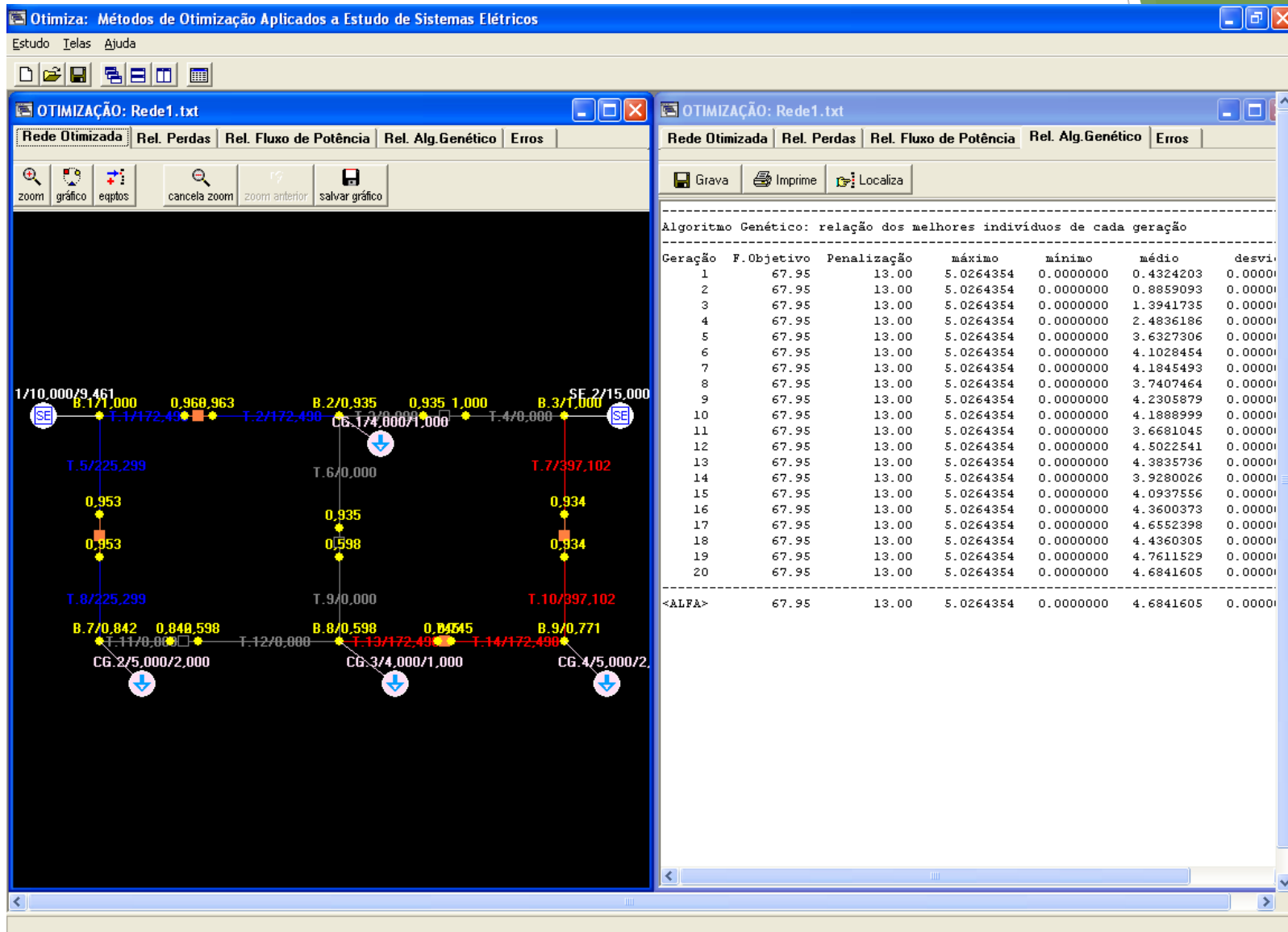
1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	0



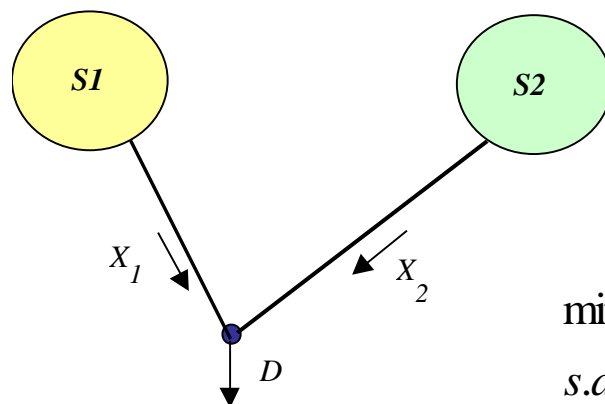
1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	1



Minimização Perdas por AG



Exemplos ilustrativos

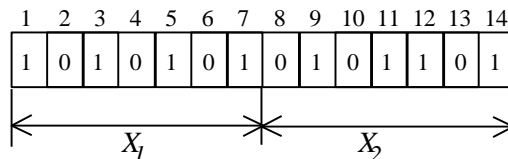


$$\begin{aligned} \min \quad & p_{tot} = r_1 X_1^2 + r_2 X_2^2 \\ \text{s.a.} \quad & X_1 + X_2 \geq D \end{aligned}$$

$$\min p_{tot} = r_1 X_1^2 + r_2 (D - X_1)^2 = (r_1 + r_2) X_1^2 - 2r_2 D X_1 + r_2 D^2$$

$$X_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} D; \quad X_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} D \text{ e } p_{tot} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} D^2$$

Resolução por AG

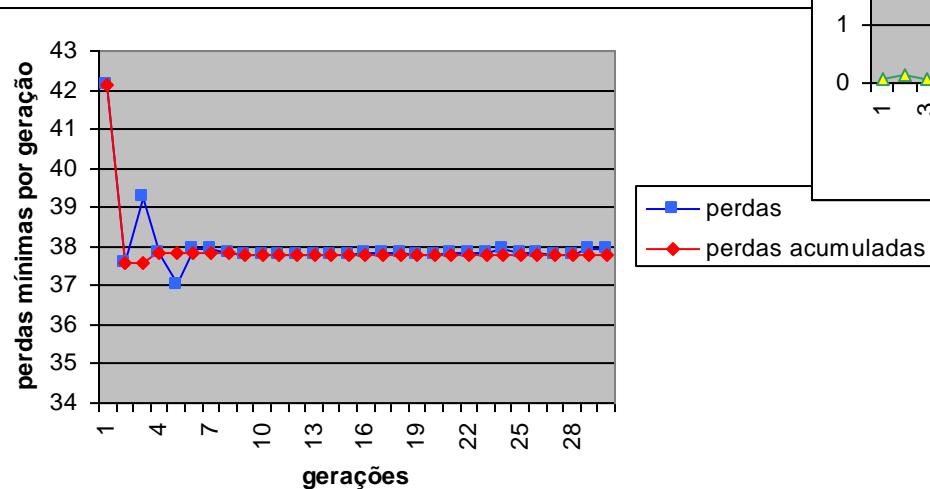
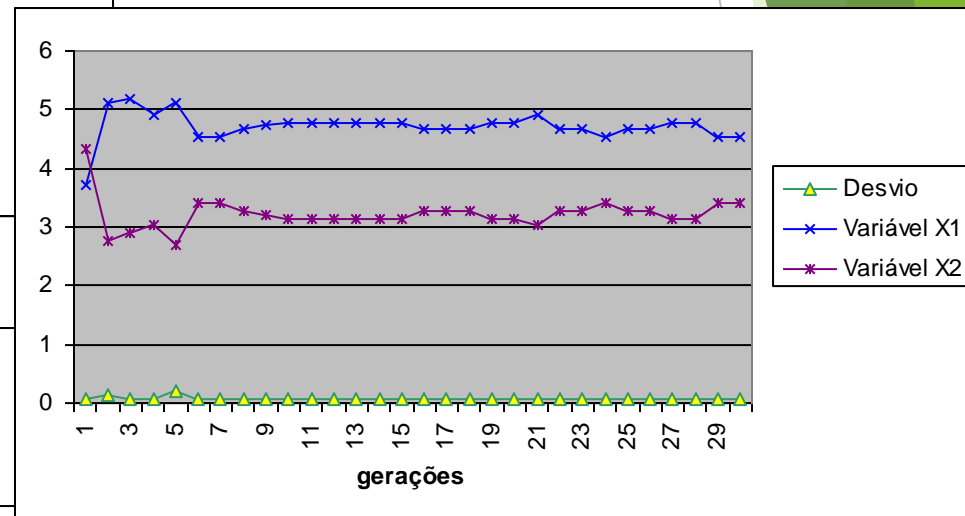
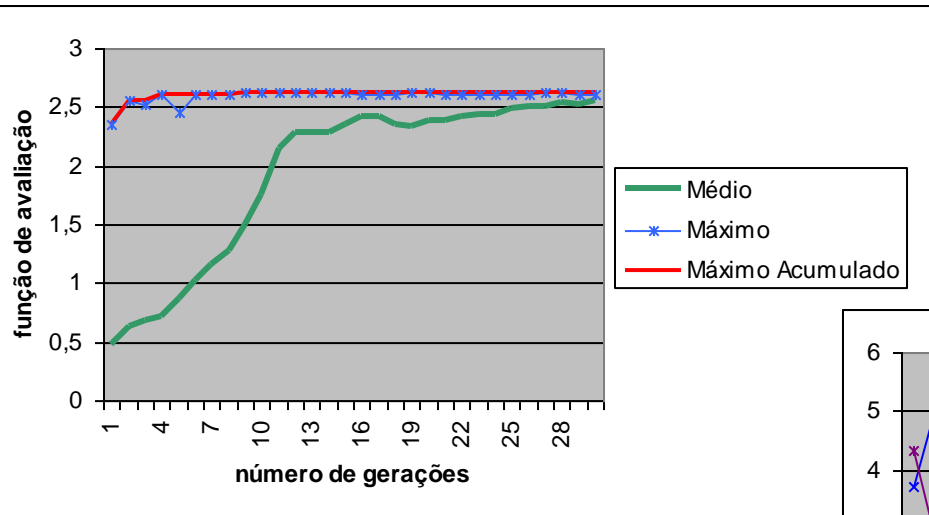


$$X_{1,i} = \frac{(2^0 bit_{i,1} + 2^1 bit_{i,2} + 2^2 bit_{i,3} + 2^3 bit_{i,4} + 2^4 bit_{i,5} + 2^5 bit_{i,6} + 2^6 bit_{i,7})}{(2^7 - 1)} X_{\max}$$

$$X_{2,i} = \frac{(2^0 bit_{i,8} + 2^1 bit_{i,9} + 2^2 bit_{i,10} + 2^3 bit_{i,11} + 2^4 bit_{i,12} + 2^5 bit_{i,13} + 2^6 bit_{i,14})}{(2^7 - 1)} X_{\max}$$

$$f_{obj,i} = r_1 X_{1,i}^2 + r_2 X_{2,i}^2 + r \{\max[0, (D - X_{1,i} - X_{2,i})]\}^2$$

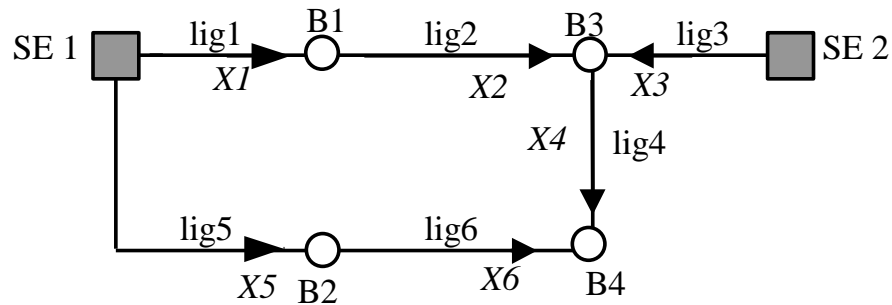
Resolução AG



Resolução AG

Método Utilizado	Variável X_1		Variável X_2		Variável p_{tot}	
	(pu)	erro (%)	(pu)	erro (%)	(pu)	erro (%)
Exato	0,0480	0	0,0320	0	0,00384	0
PL – aproximação 1	0,0800	66,7	0,0000	100	0,00640	66,7
PL – aproximação 2	0,0400	16,7	0,0400	25,0	0,00400	4,2
AG	0,0479	0,2	0,0315	1,6	0,00378	1,6

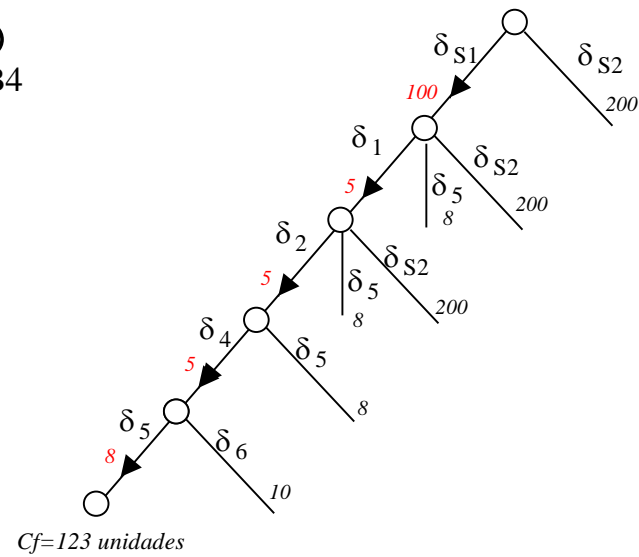
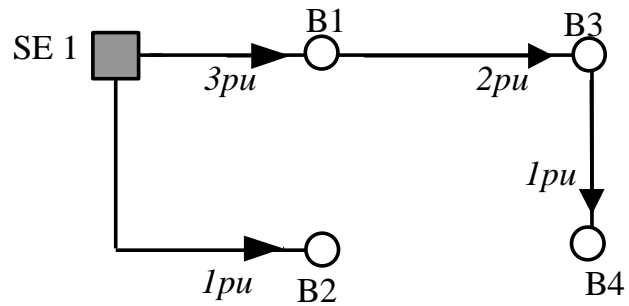
Exemplo 2



$$\min C_f = \min \left(\sum_{i=1}^6 C_i \delta_i + \sum_{j=1}^2 C_{sj} \delta_{sj} \right)$$

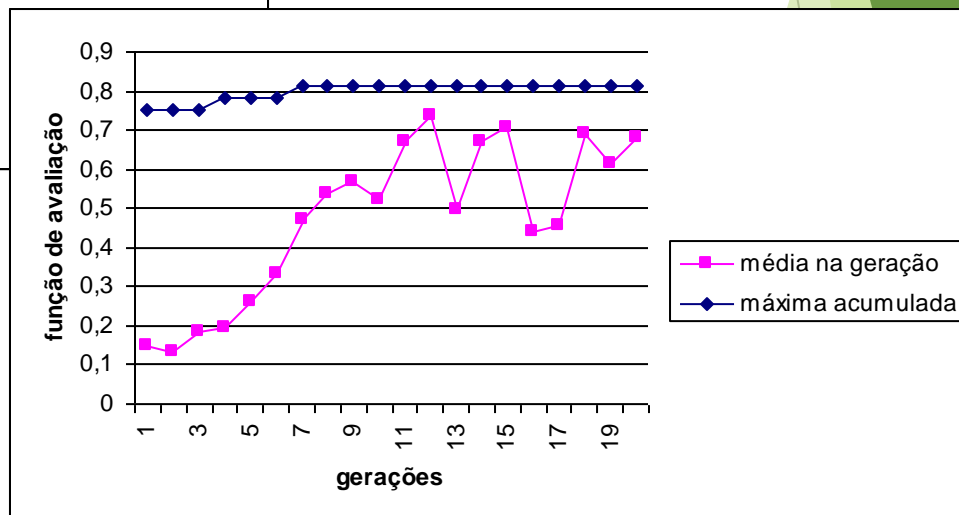
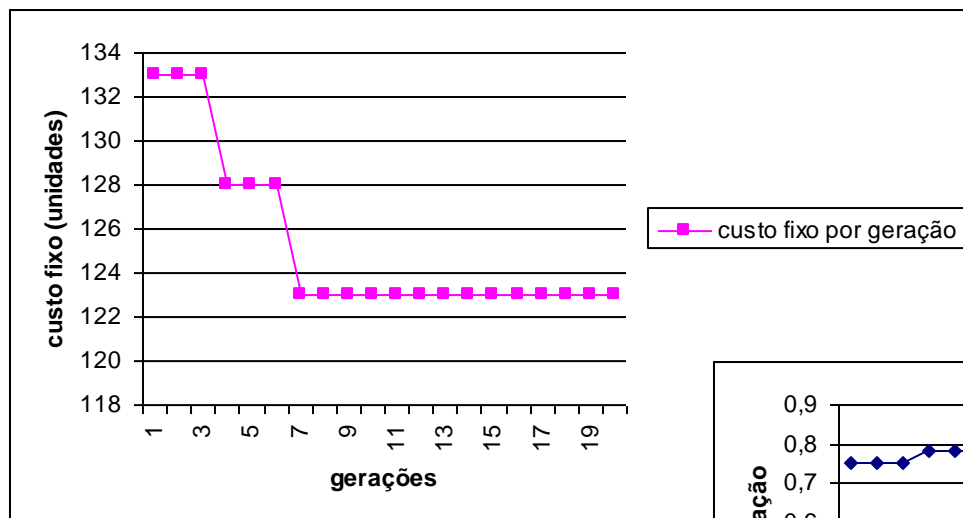
$$\begin{aligned} s.a. \quad & X_1 - X_2 = D_1 \\ & X_5 - X_6 = D_2 \\ & X_2 + X_3 - X_4 = D_3 \\ & X_4 + X_6 = D_4 \\ & X_i - M\delta_i \leq 0, i = 1, \dots, 6 \\ & X_1 + X_5 - M\delta_{s1} \leq 0 \\ & X_3 - M\delta_{s2} \leq 0 \\ & \delta_i, \delta_{sj} \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

Exemplo 2

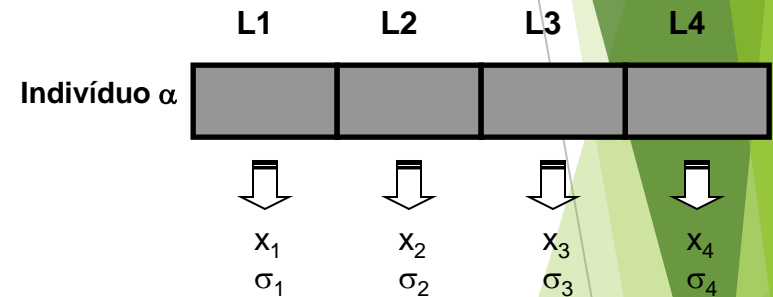
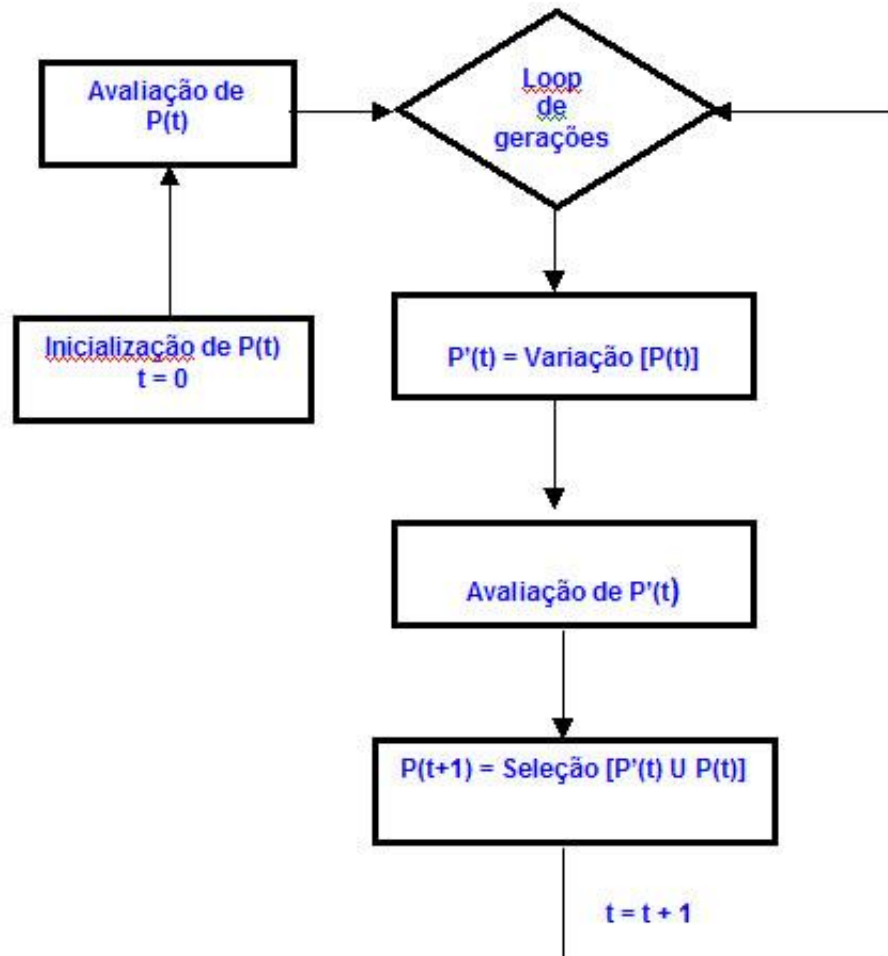


Exemplo 2 - por AG

$$f_{obj,i} = C_{f,i} + r.penal_i$$

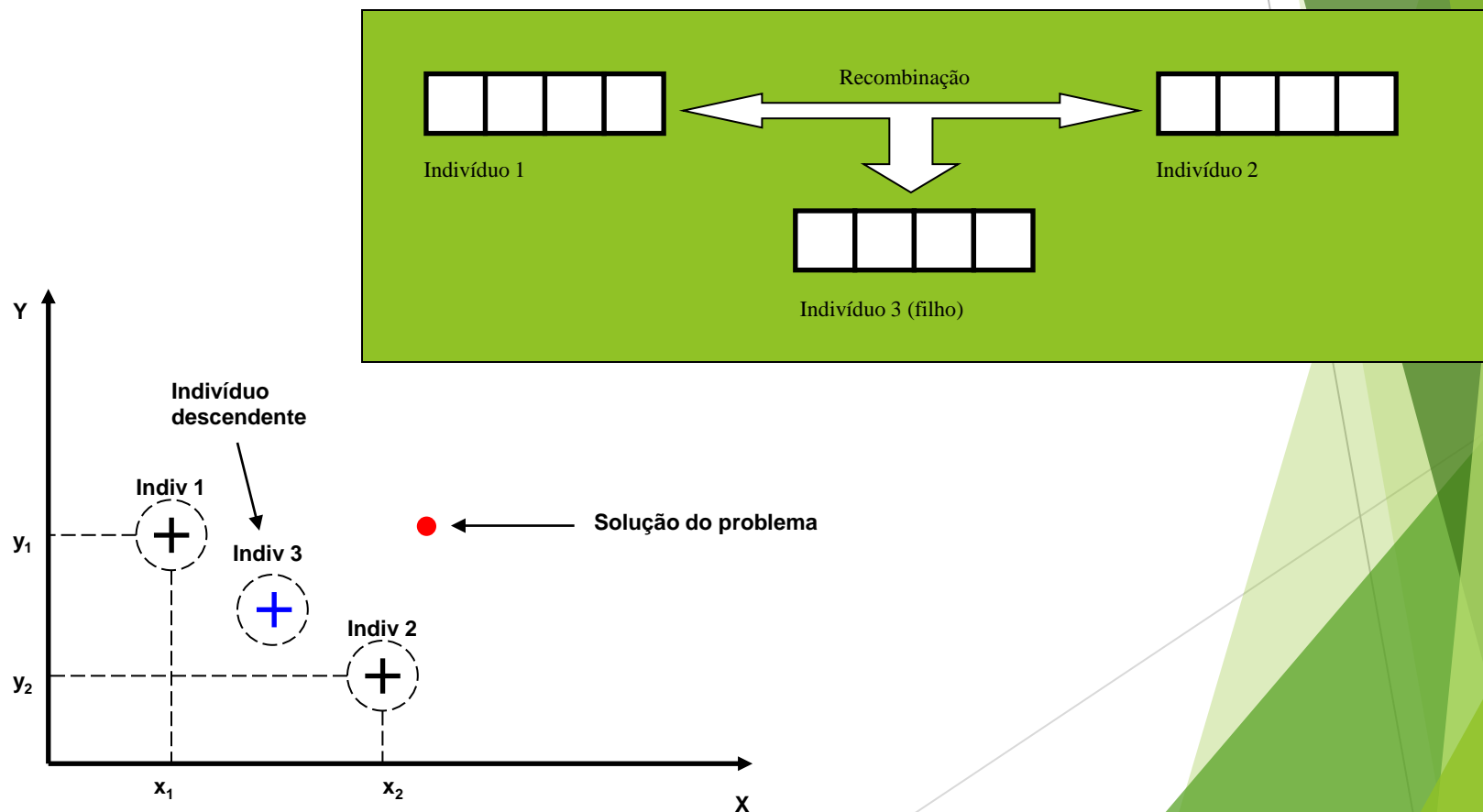


Estratégias evolutivas (EEs)



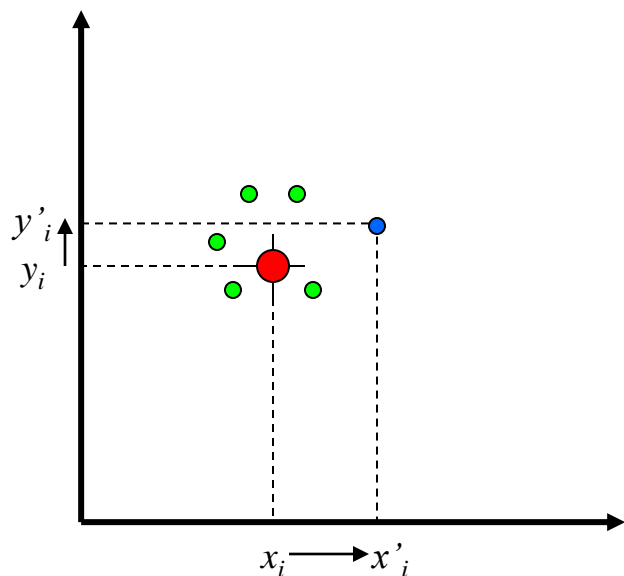
Variação da População em EE

► Recombinação



Variação da População em EE

► Mutação



$$x'_i = x_i + \sigma \cdot N_i(0,1)$$

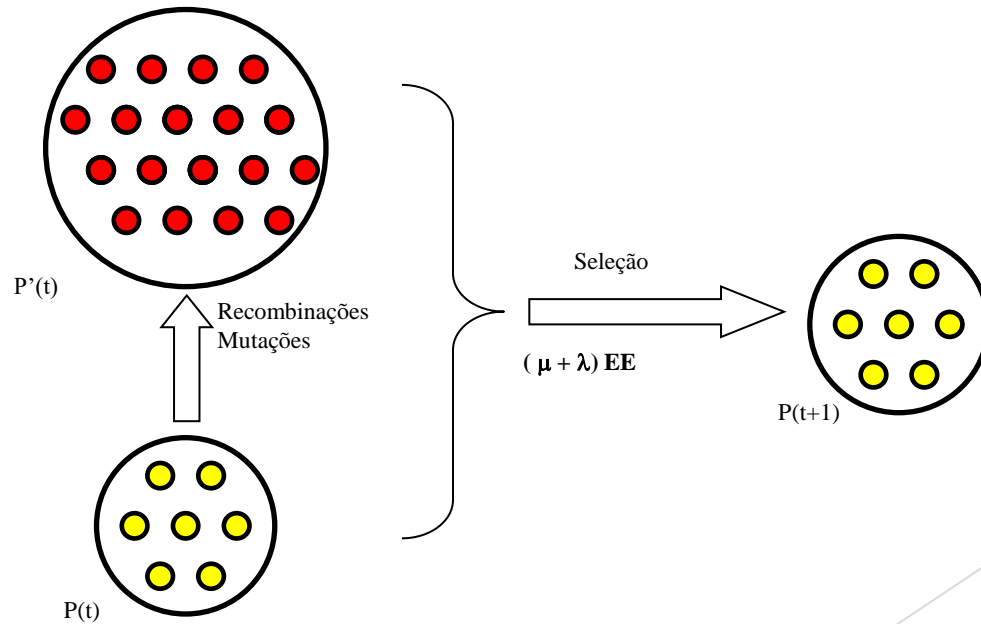
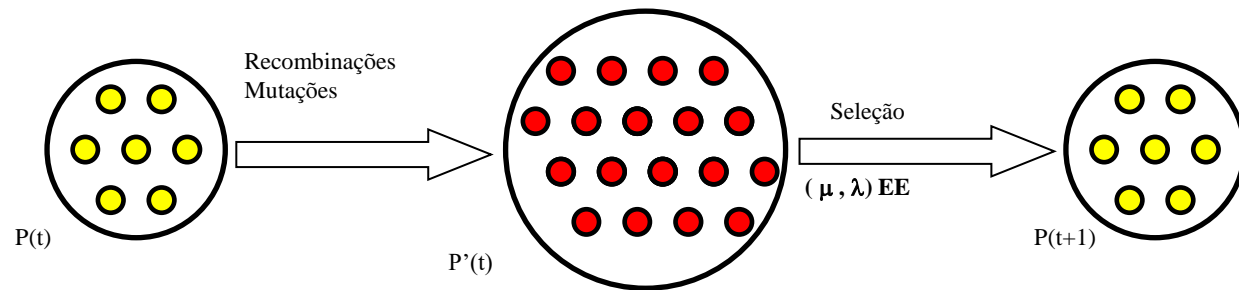
- Mutação com auto-adaptação

$$x'_i = x_i + \sigma'_i \cdot N_i(0,1)$$

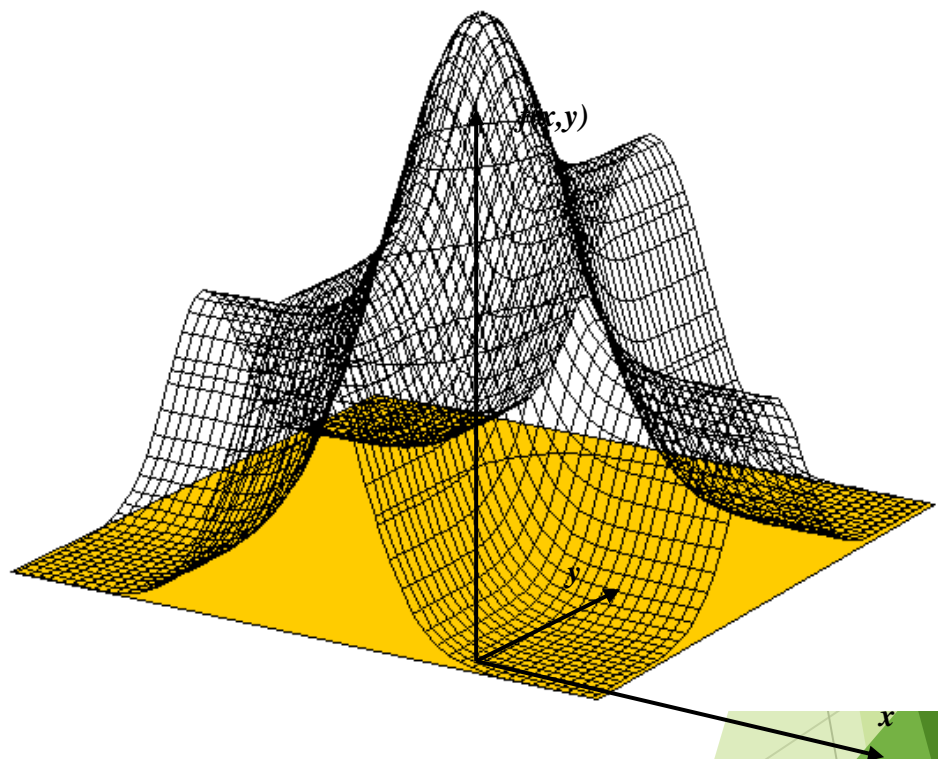
$$\sigma'_i = \sigma_i \cdot \exp(\tau' \cdot N(0,1) + \tau \cdot N_i(0,1))$$

τ', τ – taxas de aprendizagem $\propto 1/\sqrt{2n}, 1/\sqrt{2\sqrt{n}}$

Seleção em EEs



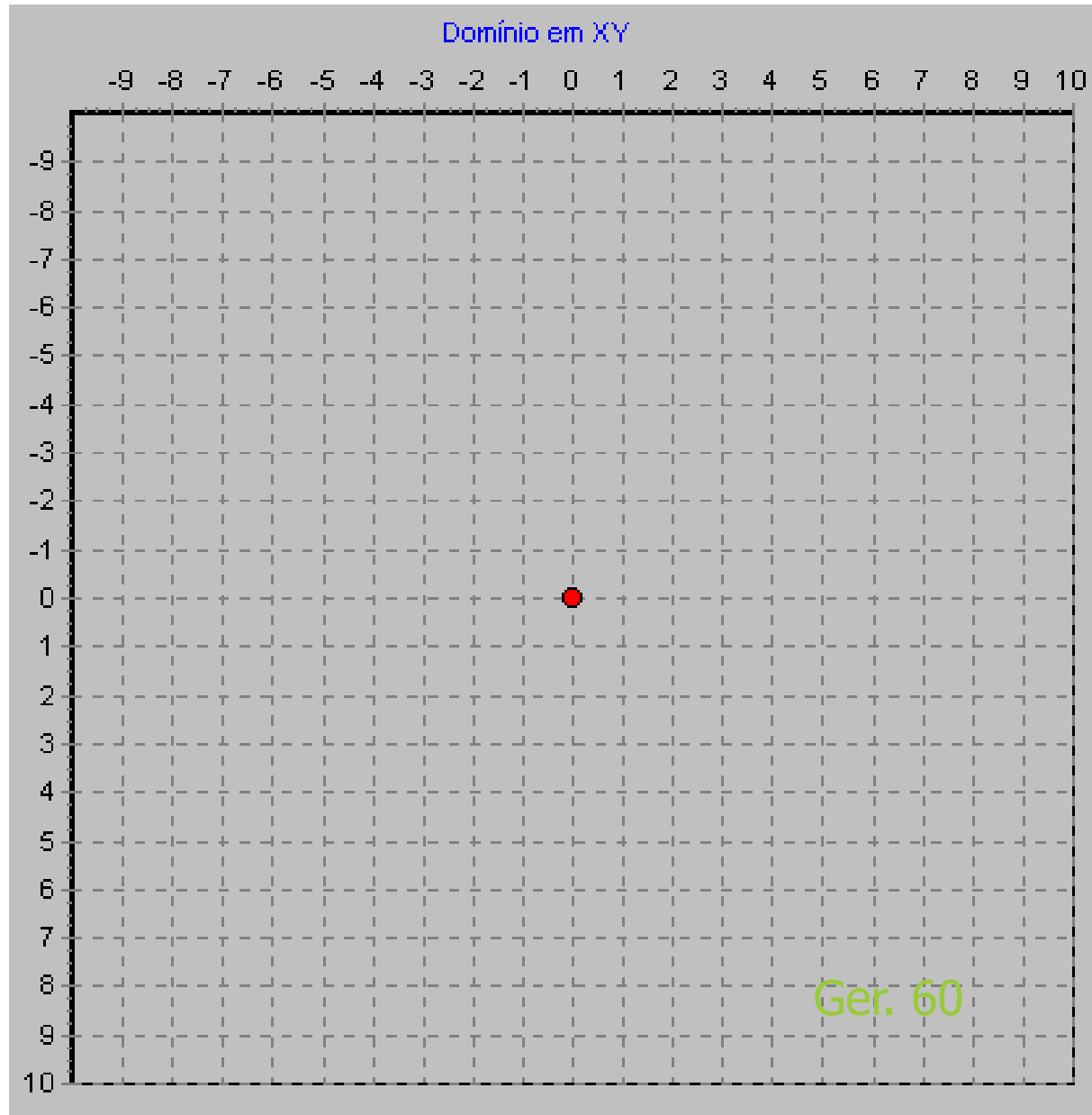
Exemplo de AE



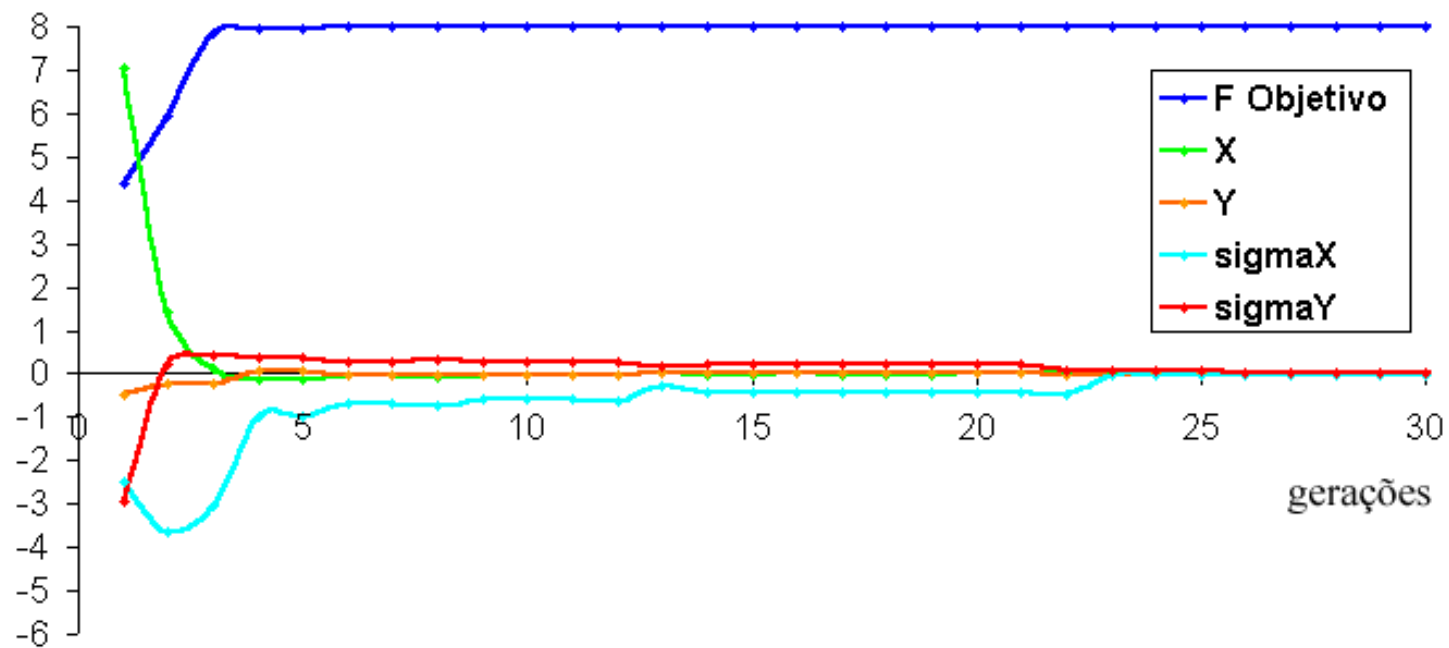
- Maximizar a função:

$$f(x, y) = 5 \cdot e^{(-y^2/2)} + 3 \cdot e^{(-x^2/2)}$$

Evolução - gerações



Evolução - gerações

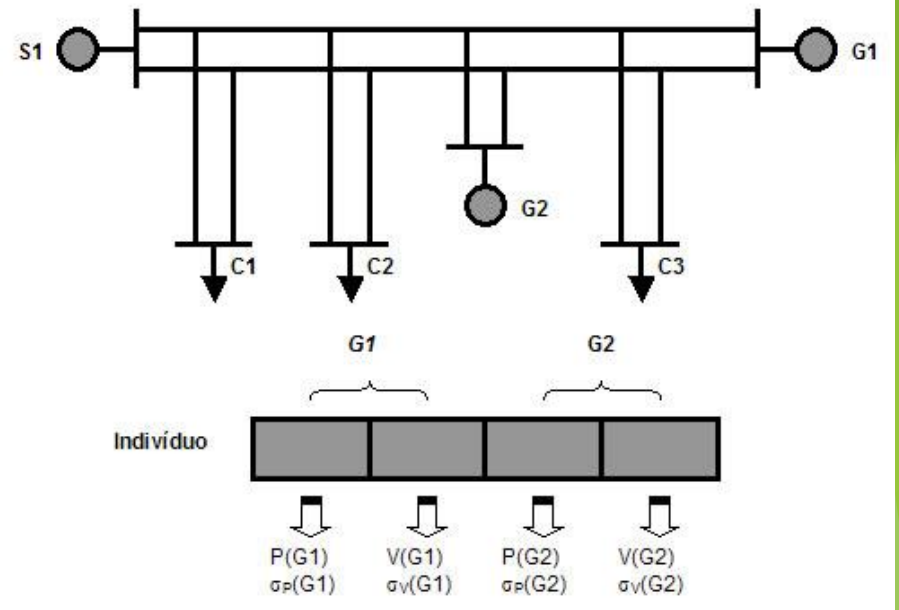


Algumas aplicações de AEs

- Otimização do despacho de unidades de geração distribuída (GD) e regulação da tensão
- Fluxo de potência convencional

Otimização do Despacho e Regulação de Tensão de GD

- Operação do sistema com mínimos custos operacionais
- Atendimento a critérios técnicos de carregamento e tensão na rede
- Ajuste nas unidades de geração distribuída:
 - Potência ativa
 - Nível de tensão



Modelo Matemático

PNL

$$\min f(\tilde{x}, \tilde{u})$$

s.a.

$$\tilde{g}(\tilde{x}, \tilde{u}) = 0$$

$$\tilde{x}_{\min} \leq \tilde{x} \leq \tilde{x}_{\max}$$

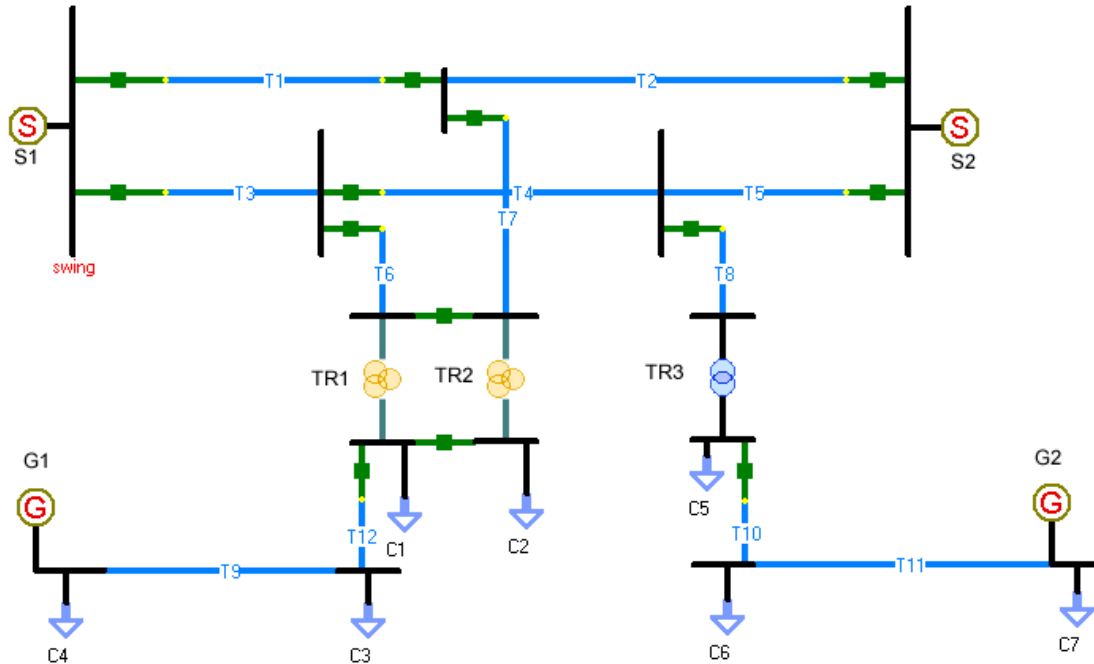
$$\tilde{u}_{\min} \leq \tilde{u} \leq \tilde{u}_{\max}$$

AE

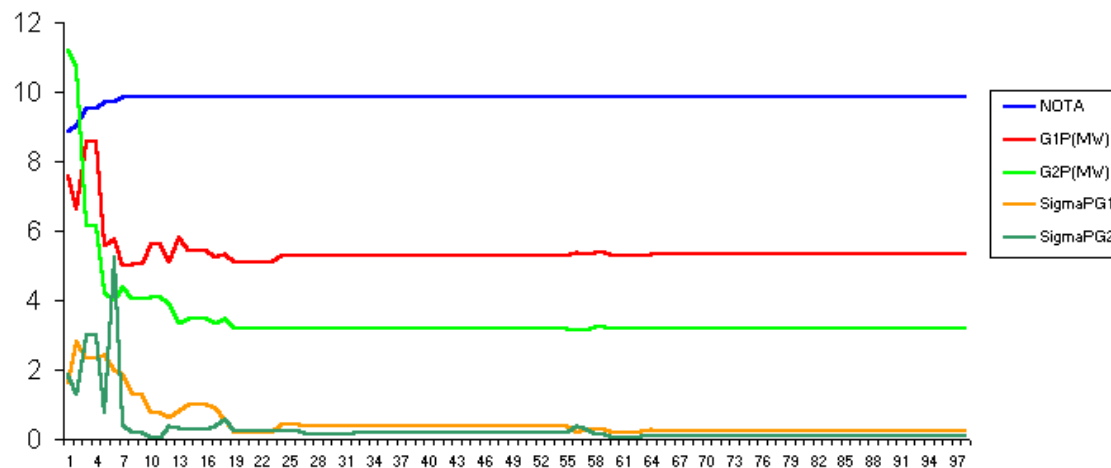
$$f(Indiv) = \frac{\alpha_c \cdot f_c(Indiv) + \alpha_T \cdot f_T(Indiv) + \alpha_p \cdot f_p(Indiv)}{\alpha_c + \alpha_T + \alpha_p}$$

- f_c – função de avaliação – transgressão carregamento
- f_T – função de avaliação – transgressão tensão
- f_p – função de avaliação – custo operacional (perdas)

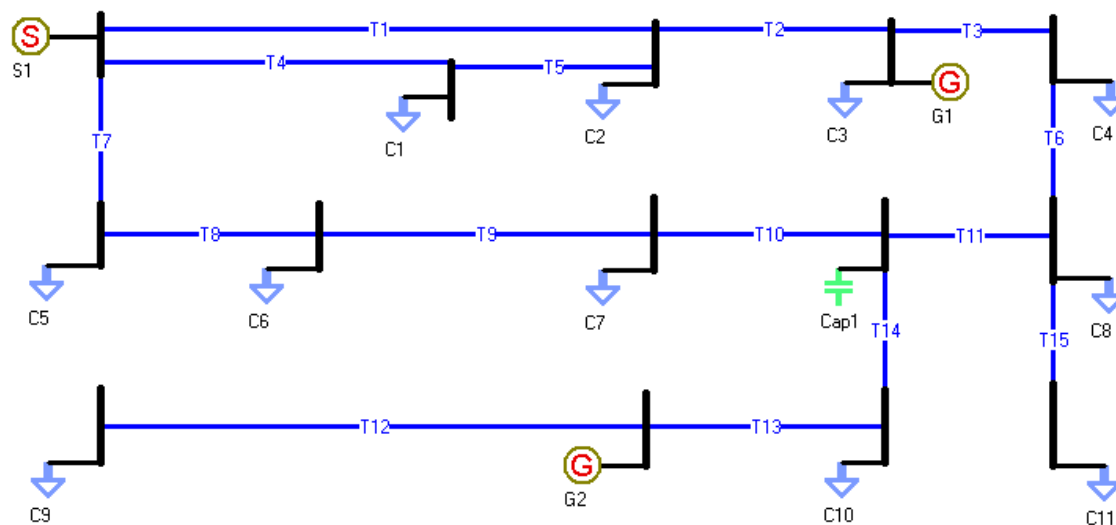
Resultados - Despacho GD -



Parâmetro	Valor
Gerações	200
Indivíduos/Geração	5
Locus/Indivíduo	4
Prob. de Cruzamento	50%
Mutações/Indivíduo	10
Idade Máxima/Indivíduo	5 gerações
Tipo de seleção	(μ, k, λ)
α_C	1
α_T	1
α_P	3

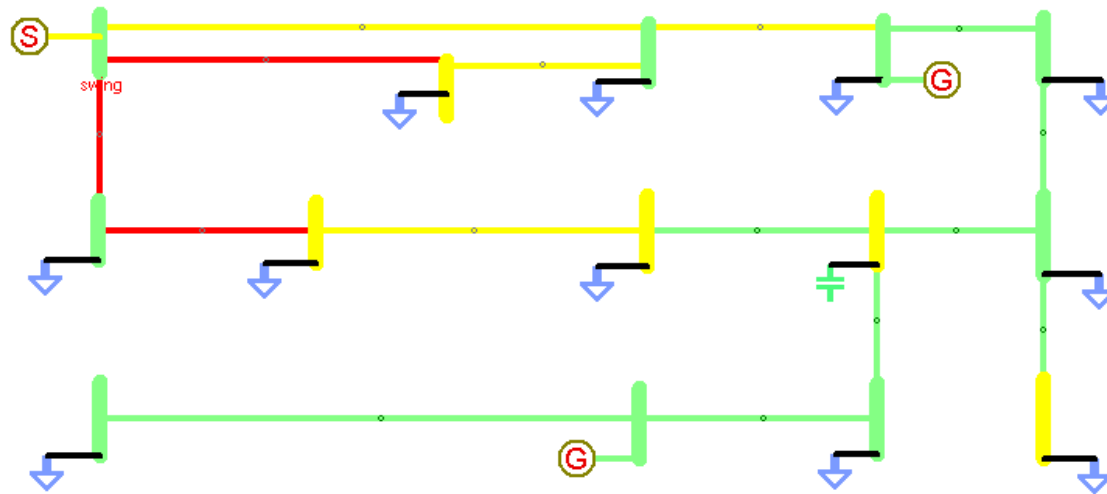


Caso 2



Suprimento/ Gerador	Tipo de barra	Capacidade (MVA)	Tensão Nominal (kV)
S1	V0	400	88
G1	PV	200	88
G2	PV	150	88

Diagnóstico

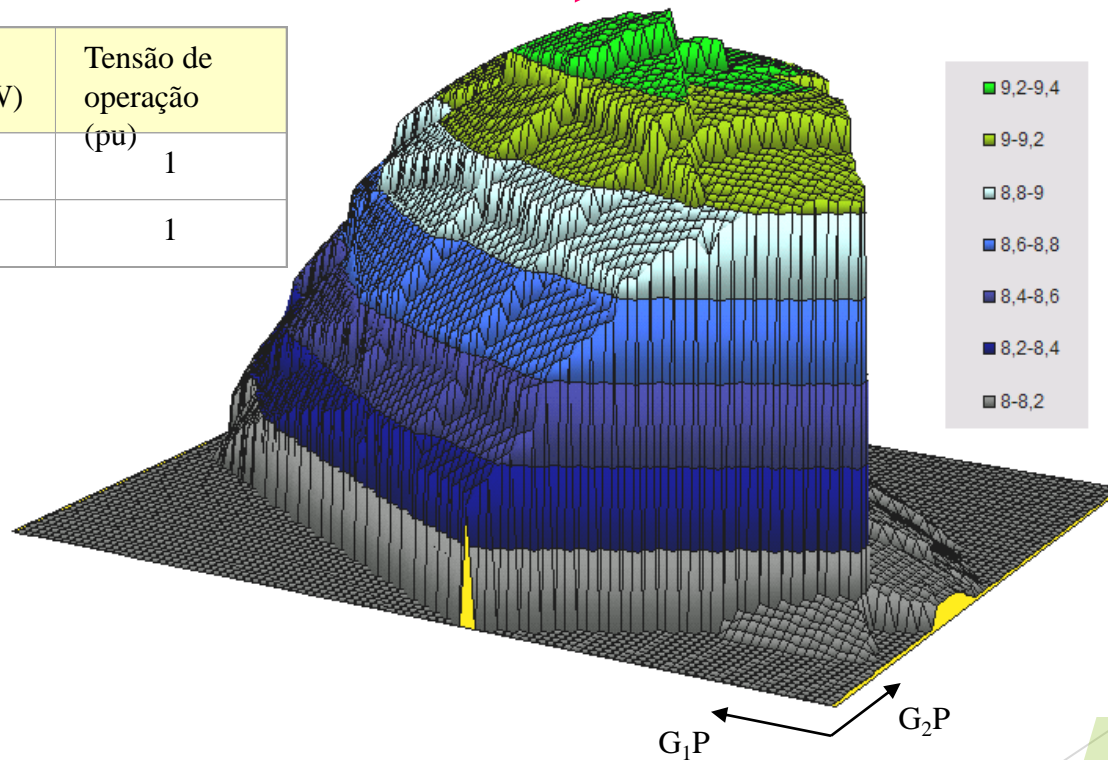


Gerador	Tipo de barra	Potência injetada (MW)	Tensão de operação (pu)
G1	PV	5	1
G2	PV	2	1

Busca exaustiva

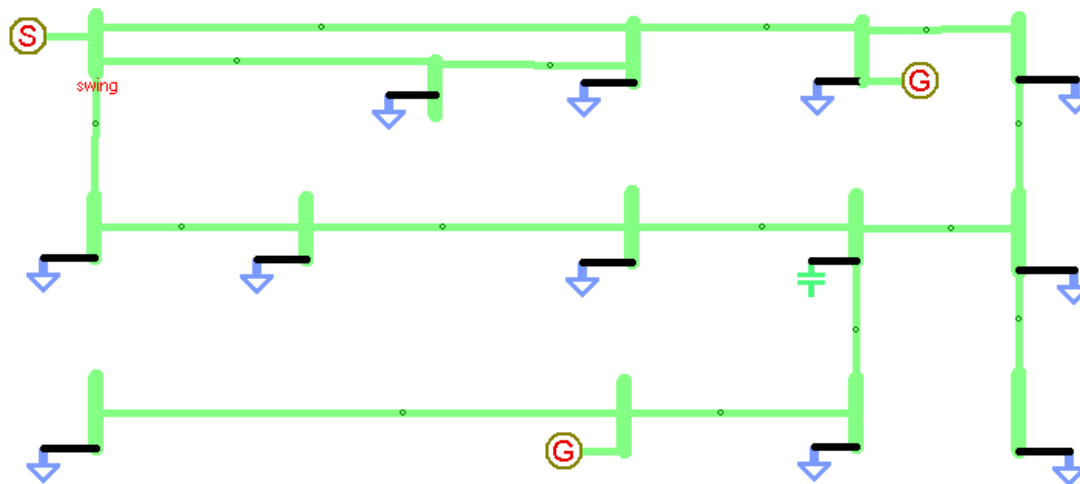
máximo

Gerador	Potência injetada (MW)	Tensão de operação (pu)
G1	128	1
G2	68	1



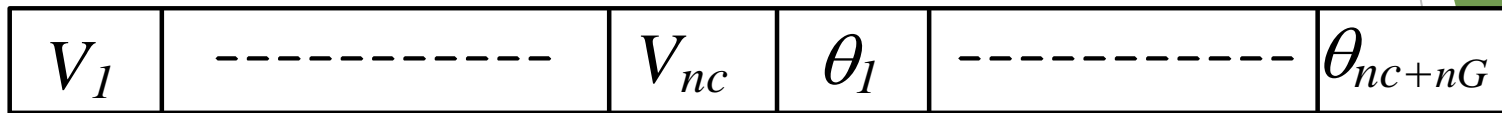
Representação gráfica da função g . Os valores de G_1P variam entre 0 e 200 MW, enquanto os de G_2P variam entre 0 e 150 MW.

Solução por AE

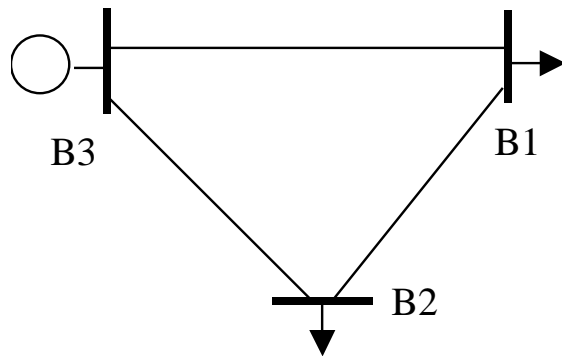


Gerador	Potência injetada (MW)	Passo de mutação (MW)	Tensão de operação (pu)	Passos de mutação (pu)
G1	125,34	0,31	1,02	0,00
G2	66,98	0,26	1,03	0,00

Fluxo de potência



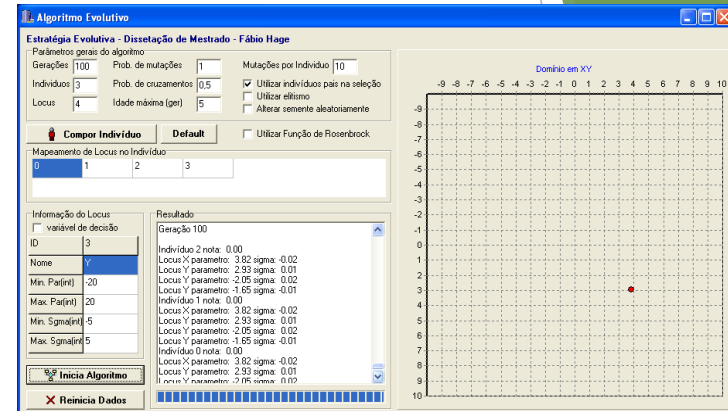
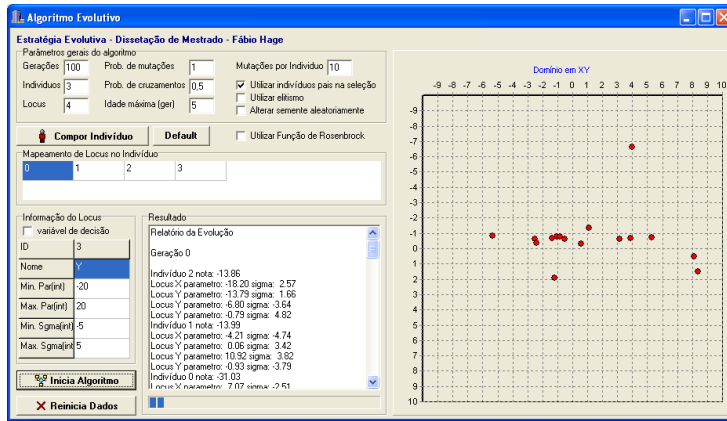
$$f(Indiv) = -[\sum_{i=1, nc+nG} |\Delta P_i| + \sum_{i=1, nc} |\Delta Q_i|]$$



$$P_i(V, \theta) = \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ji} - B_{ij} \sin \theta_{ji}), \quad i = 1, \dots, n_c + n_G$$

$$Q_i(V, \theta) = -\sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ji} + B_{ij} \cos \theta_{ji}), \quad i = 1, \dots, n_c$$

Exemplo - fluxo de potência



Os valores das quedas de tensão nas barras 1 e 2 são de 3,82% e 2,93%, respectivamente, correspondendo às tensões de 0,9618pu e 0,9707pu. Os ângulos são de $-2,05^\circ$ e $-1,65^\circ$.

