

# Otimização de custos e emissões de CO<sub>2</sub> nas operações de *pull out* de risers através de Algoritmos Genéticos



**Milene França**

Master em Business Intelligence – PUC Rio

# ALGORITMOS GENÉTICOS



# Algoritmos Genéticos e Seleção Natural

---

- Os algoritmos genéticos (GAs) foram concebidos utilizando o mecanismo de **Seleção Natural em Genética**.
- Segundo o princípio da evolução das espécies proposto por Darwin:

***“Quanto melhor o indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será a sua chance de sobreviver e gerar descendentes”***



# Algoritmos Genéticos e Seleção Natural

---

Algoritmos Genéticos	Seleção Natural
Solução para um <b>problema</b>	Sobrevivência do indivíduo em um meio ambiente
Utilizando <b>técnicas matemáticas para representá-los</b>	Cromossomos e genes
Através da <b>evolução das soluções</b>	Combinações (crossover) e mutações das espécies
Nas <b>condições estabelecidas para aquele problema</b>	Meio ambiente
Para chegar a uma <b>solução</b>	Indivíduo “mais resistente”

# Uso de Algoritmos Genéticos

Decodificação do Problema

Representação Cromossômica

Utilização de Algoritmos Genéticos (excel®)

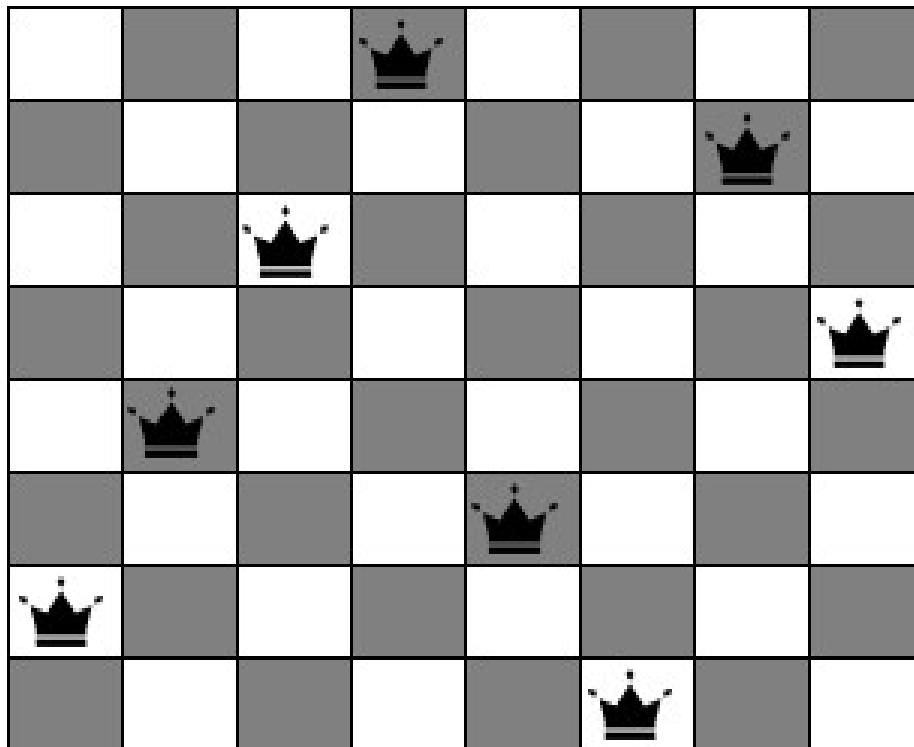
Inclusão das variáveis e restrições

Otimização realizada pelo Algoritmo Genético

Algoritmos Genéticos	Seleção Natural
Solução para um <b>problema</b>	Sobrevivência do indivíduo em um meio ambiente
Utilizando <b>técnicas matemáticas para representá-los</b>	Cromossomos e genes
Através da <b>evolução das soluções</b>	Combinações (crossover) e mutações das espécies
Nas <b>condições estabelecidas para aquele problema</b>	Meio ambiente
Para chegar a uma <b>solução</b>	Indivíduo “mais resistente”

# Problema $n$ -Rainhas

Problema das  $n$ -Rainhas: distribuir  $n$  rainhas do jogo de xadrez em um tabuleiro de tamanho " $n \times n$ ", sem que uma rainha ameace outra. Isto significa que duas rainhas não podem se localizar numa mesma linha, coluna ou diagonal.



**N = 50?**



# Decodificação e representação cromossômica

**Problema  $n$ -Rainhas**

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8								♠
	7							♠	
	6						♠		
	5					♠			
	4				♠				
	3			♠					
	2		♠						
	1	♠							
		1	2	3	4	5	6	7	8

<b>Filho 1</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Representação cromossômica (Pai 1)

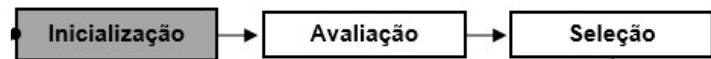
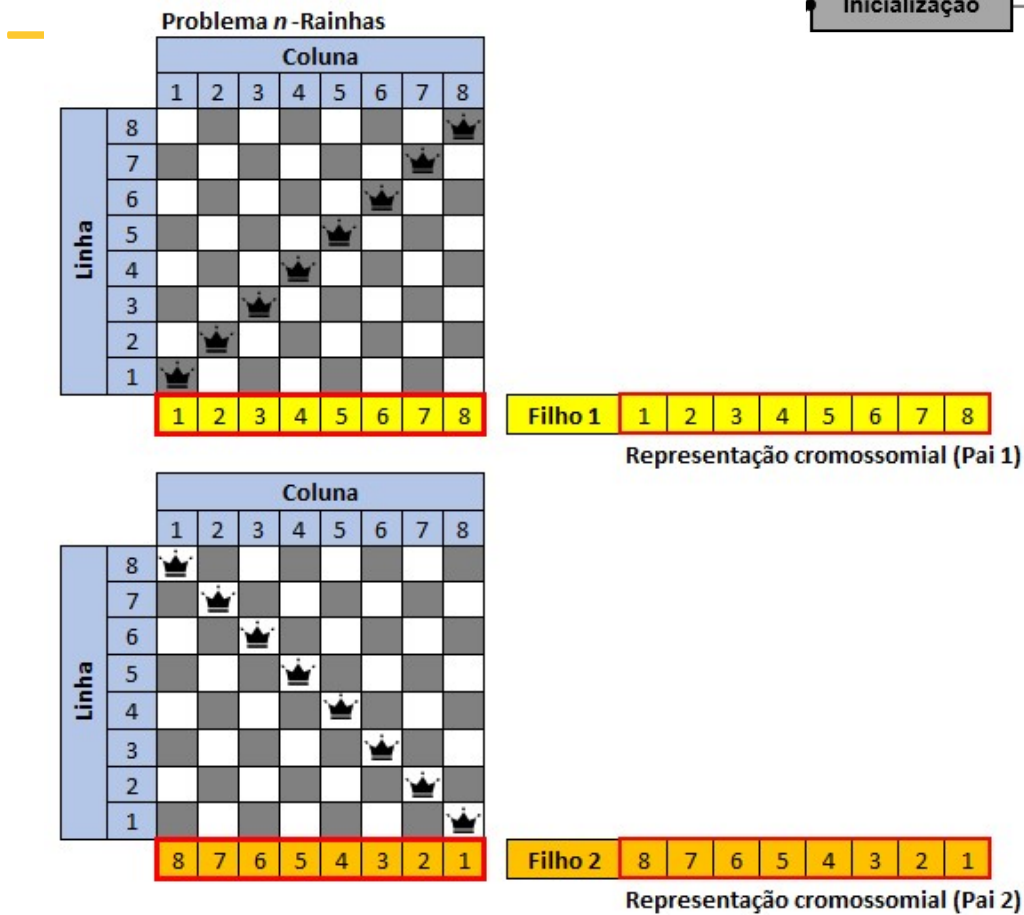
		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8	♠							
	7		♠						
	6			♠					
	5				♠				
	4					♠			
	3						♠		
	2							♠	
	1								♠
		8	7	6	5	4	3	2	1

<b>Filho 2</b>	8	7	6	5	4	3	2	1
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Representação cromossômica (Pai 2)



# Operadores Genéticos





# Operadores Genéticos

Problema  $n$ -Rainhas

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8								♔
	7							♔	
	6						♔		
	5					♔			
	4				♔				
	3			♔					
	2		♔						
	1	♔							

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8	♔							
	7		♔						
	6			♔					
	5				♔				
	4					♔			
	3						♔		
	2							♔	
	1								♔

Filho 1 1 2 3 4 5 6 7 8

Representação cromossomial (Pai 1)

Algoritmo Crossover

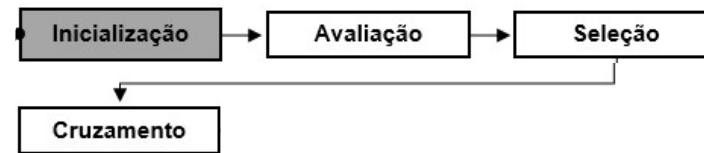


Filho 3 1 2 3 4 4 3 2 1

Filho 4 8 7 6 5 5 6 7 8

Filho 2 8 7 6 5 4 3 2 1

Representação cromossomial (Pai 2)



# Operadores Genéticos

Problema  $n$ -Rainhas

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8								♔
	7							♔	
	6					♔			
	5				♔				
	4				♔				
	3			♔					
	2		♔						
	1	♔							

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8	♔							
	7		♔						
	6			♔					
	5				♔				
	4					♔			
	3						♔		
	2							♔	
	1								♔

Filho 1 1 2 3 4 5 6 7 8

Representação cromossomial (Pai 1)

Algoritmo Crossover



Filho 2 8 7 6 5 4 3 2 1

Representação cromossomial (Pai 2)

Filho 3 1 2 3 4 4 3 2 1

Filho 4 8 7 6 5 5 6 7 8



Algoritmo de Mutação

Filho 5 1 2 3 4 4 6 2 1

Filho 6 8 7 6 5 5 6 7 1



# Operadores Genéticos

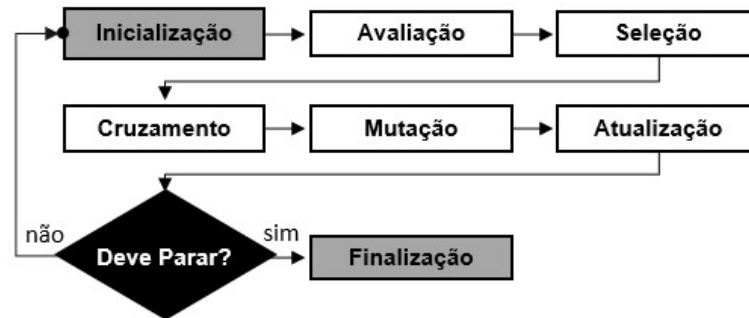
**Problema  $n$ -Rainhas**

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8								♠
	7							♠	
	6						♠		
	5					♠			
	4				♠				
	3			♠					
	2		♠						
	1	♠							

1 2 3 4 5 6 7 8

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8	♠							
	7		♠						
	6			♠					
	5				♠				
	4					♠			
	3						♠		
	2							♠	
	1								♠

8 7 6 5 4 3 2 1



Filho 1 1 2 3 4 5 6 7 8  
Representação cromossomal (Pai 1)

Algoritmo Crossover



Filho 3 1 2 3 4 4 3 2 1

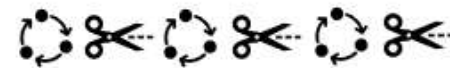
Filho 4 8 7 6 5 5 6 7 8



Algoritmo de Mutação

Filho 5 1 2 3 4 4 6 2 1

Filho 6 8 7 6 5 5 6 7 1



Filho 2 8 7 6 5 4 3 2 1  
Representação cromossomal (Pai 2)

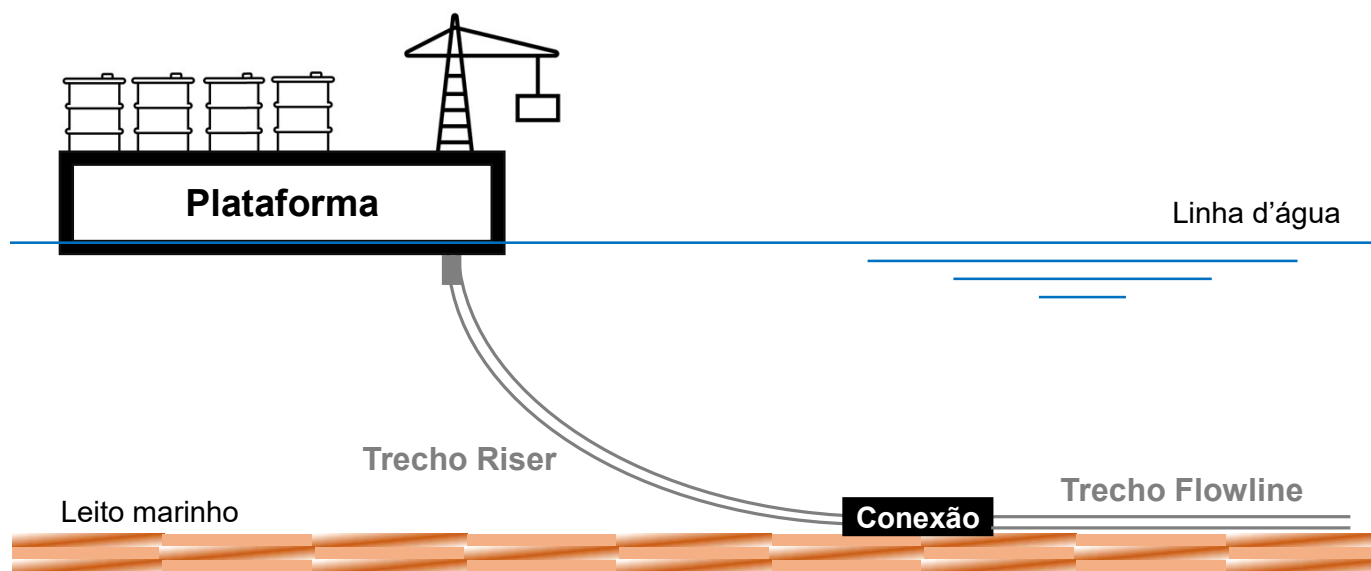
Solução proposta

		Coluna							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Linha	8				♠				
	7							♠	
	6			♠					
	5								♠
	4		♠						
	3					♠			
	2	♠							
	1						♠		

***PULL OUT* DE RISERS**

—

# Risers



# Custos e Emissões CO<sub>2</sub> em *Pull Out* de Risers

---

**Problema:** otimização de custos e emissões de CO<sub>2</sub> para realização de *pull out* de risers

**Variáveis:**

- alternativas de *pull out*;
- embarcações;
- combustível;
- emissão de CO<sub>2</sub>;
- tipo de riser (óleo, umbilical, injeção etc.)
- condições locais (inexistência de rota de abandono);
- condições técnicas (ausência de integridade);
- permanência da UEP na locação;
- distância da UEP até a costa.

**Função objetivo:** otimização custos e emissões de CO<sub>2</sub>

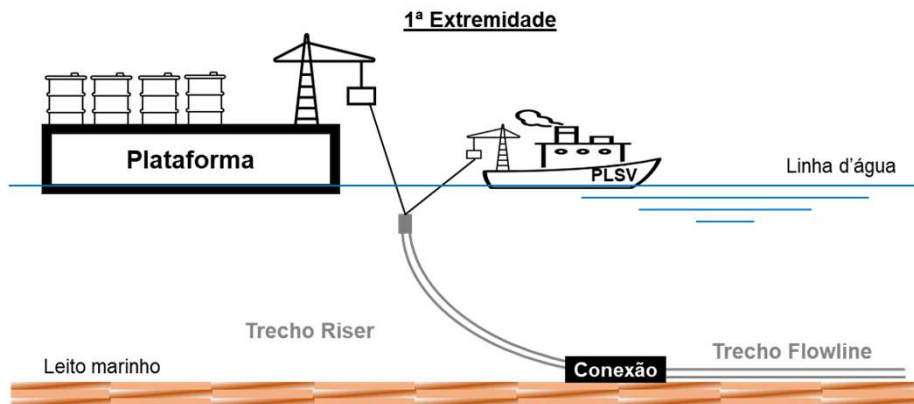
**Método ou algoritmo:** “Solver” do Microsoft Excel®

Utilizado para teste de hipóteses, para determinar o valor máximo ou mínimo de uma célula, considerada a função objetivo, alterando outras células (genes e o cromossomo), respeitando as restrições ou limites estabelecidos do problema.

# Estudo de Caso UEP-1

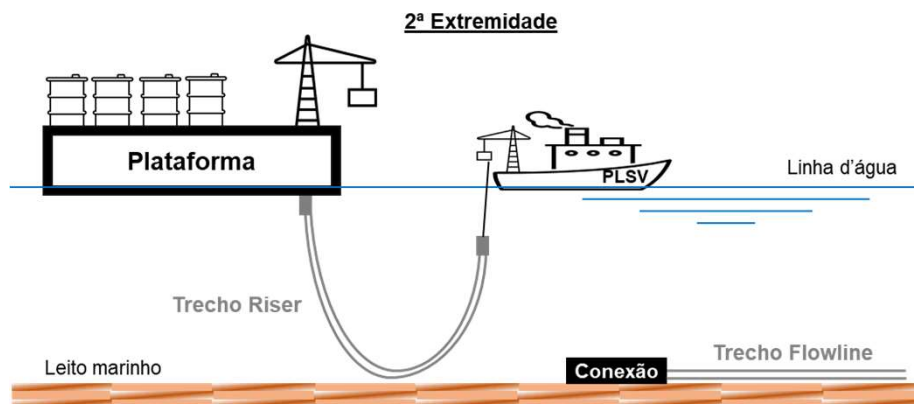
—

# Alternativas *Pull Out* de Risers do Estudo de Caso UEP-1



## *Pull out* de 1ª Extremidade

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa B:** Corte no corpo da linha, pull out de 1ª extremidade e recolhimento



## *Pull out* de 2ª Extremidade

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento



# Decodificação das alternativas *Pull Out* de Risers para o Estudo de Caso UEP-1

	Embarcação	Tempo por riser (d)
<b>Alternativa A: Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento</b>		
Instalação de peso morto	RSV	1,00
Quebra de conexão	RSV	2,00
<i>Pull out</i> de 1ª extremidade	PLSV	1,00
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Alternativa B: Corte no corpo da linha, pull out de 1ª extremidade e recolhimento</b>		
Instalação de peso morto	RSV	1,00
Corte do tramo riser no leito marinho	RSV	1,50
<i>Pull out</i> de 1ª extremidade	PLSV	1,00
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Alternativa D: Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento</b>		
Instalação de peso morto	RSV	1,00
Quebra de conexão	RSV	2,00
Instalação de cabeça de tração	RSV	2,00
<i>Pull out</i> de 2ª extremidade	PLSV	0,50
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Totais Adicionais a todas Alternativas</b>		
Transporte (86km e 30h)	PLSV	1,25
Descarregamento (5un)	PLSV	6,00

# Características dos Risers do Estudo de Caso UEP-1

Nº	Comp. (m)	Alternativa
1	2.560	D
2	1.358	D
3	2.580	D
4	987	D
5	2.687	B
6	3.651	D
7	1.243	A
8	4.253	A
9	1.897	D
10	2.635	A
11	1.856	B
12	4.015	A
13	1.688	A
14	3.879	D
15	1.658	D
16	1.589	D
17	2.781	D
18	1.589	A
19	789	A
20	1.543	D
21	875	A
22	905	A
23	1.020	A

## Pull out de 1ª Extremidade

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa B:** Corte no corpo da linha, pull out de 1ª extremidade e recolhimento

## Pull out de 2ª Extremidade

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

# Resultados do “caso base” para as funções objetivo do Estudo de Caso UEP-1

	Riser (km)	Emissão CO <sub>2</sub> (mil Ton)	Custo Riser (USD MM)	Custo Carbono (USD MM)	Total (USD MM)
Alt. A	19,01	70,26	6,79	0,70	7,49
Alt. B	4,54	12,46	1,29	0,12	1,41
Alt. D	24,48	103,33	8,17	1,03	9,20
Transporte		55.040,00	55,04	1,88	0,55
Descarregamento		9.216,00	9,22	9,00	0,09
		<b>250,31</b>	<b>27,13</b>	<b>2,50</b>	<b>29,63</b>

# Resultados Obtidos para Estudo de Caso UEP-1 (RSV sempre que possível)

## Pull out de 1ª Extremidade

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa B:** Corte no corpo da linha, pull out de 1ª extremidade e recolhimento

## Pull out de 2ª Extremidade

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

Padrão	otimizações		
D	A	A	A
D	A	A	A
D	A	A	A
D	A	A	A
B	B	B	B
D	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A
D	A	A	A
A	A	A	A
B	B	B	B
A	A	A	A
A	A	A	A
D	A	A	A
D	A	A	A
D	A	A	A
D	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A
D	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A
A	A	A	A
Custo Riser (USD MM):	27,13	26,58	26,58
Emissão CO <sub>2</sub> (mil Ton):	250,31	224,54	224,54
Custo Riser e CO <sub>2</sub> (USD MM):	29,63	28,82	28,82
Otimização Custo Riser (%):	100%	98,0%	98,0%
Otimização Emissão CO <sub>2</sub> (%):	100%	89,7%	89,7%
Otimização Custo Riser e CO <sub>2</sub> (%):	100%	97,3%	97,3%

\_\_\_\_\_

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa B:** Corte no corpo da linha, pull out de 1ª extremidade e recolhimento

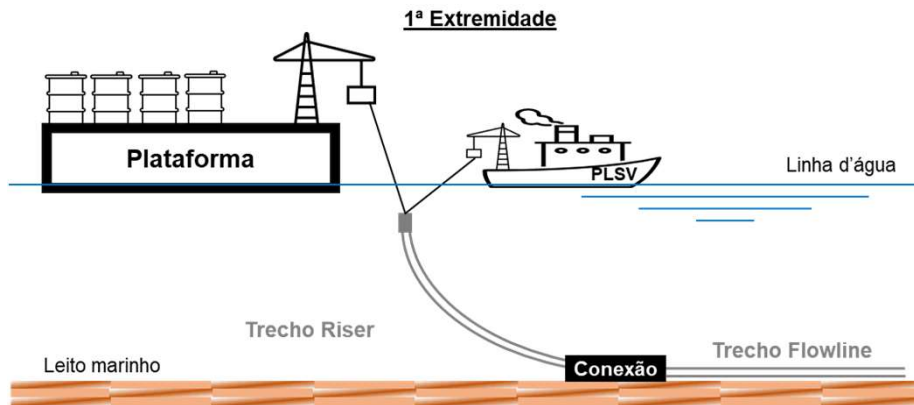
- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

	Padrão	RSV e PLSV	PLSV
na CRF, pull out de 1ª o	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	B	B	B
	D	A	D
	A	A	D
	A	A	D
	D	A	D
	A	A	D
na CRF, pull out de 1ª o	B	B	B
	A	A	D
	A	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	A	A	D
	A	A	D
	D	A	D
na CRF, pull out de 2ª o	A	A	D
	A	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	D	A	D
	A	A	D
	A	A	D
	D	A	D
	A	A	D
Custo Riser (USD MM):	27,13	26,58	22,13
	250,31	224,54	127,30
	29,63	28,82	23,40
Otimização Custo Riser (%):	100%	98,0%	81,6%
Otimização Emissão CO <sub>2</sub> (%):	100%	89,7%	50,9%
Otimização Custo Riser e CO <sub>2</sub> (%):	100%	97,3%	79,0%

## Estudo de Caso UEP-2

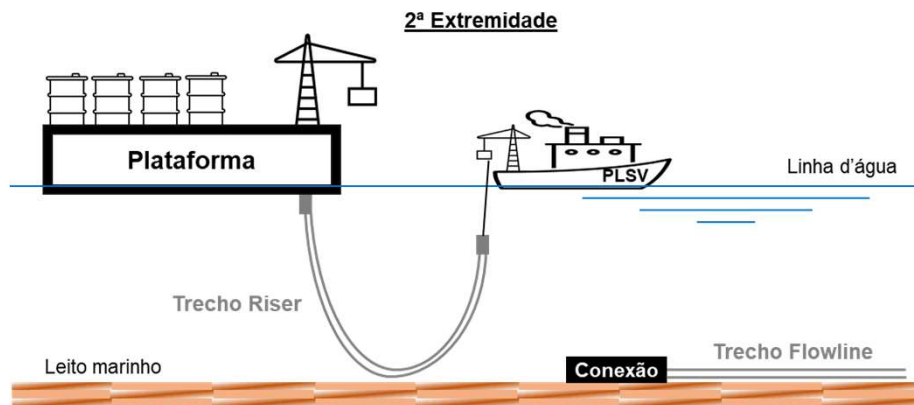
—

# Alternativas *Pull Out* de Risers do Estudo de Caso UEP-2



## *Pull out* de 1ª Extremidade

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa C:** Pull out de 1ª extremidade, deposição temporária no leito e recolhimento posterior



## *Pull out* de 2ª Extremidade

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

# Decodificação das alternativas *Pull Out* de Risers para o Estudo de Caso UEP-2

	Embarcação	Tempo por riser (d)
<b>Alternativa A: Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento</b>		
Instalação de peso morto	RSV	1,00
Quebra de conexão	RSV	2,00
<i>Pull out</i> de 1ª extremidade	PLSV	1,00
TNP associado a campanha de desmobilização	PLSV	1,50
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Alternativa C: Pull out de 1ª extremidade, deposição temporária no leito e recolhimento posterior</b>		
Pullout de 1ª extremidade	PLSV	1,00
Deposição no fundo marinho	PLSV	0,50
TNP associado a campanha de desmobilização	PLSV	1,50
Quebra de conexão	RSV	2,00
Recuperação da extremidade	PLSV	0,50
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Alternativa D: Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento</b>		
Instalação de peso morto	RSV	1,00
Quebra de conexão	RSV	2,00
Instalação de cabeça de tração	RSV	2,00
<i>Pull out</i> de 2ª extremidade	PLSV	0,50
TNP associado a campanha de desmobilização	PLSV	1,50
Recolhimento (0,3km/h)	PLSV	
<b>Totais Adicionais a todas Alternativas</b>		
Tamponamento da linha de óleo	RSV	2,00
Transporte (86km e 30h)	PLSV	1,25
Descarregamento (5un)	PLSV	6,00



# Características dos Risers do Estudo de Caso UEP-2

Index	Comp. (m)	Linha de óleo	Ausência de integridade de riser	Inexistência de rota de abandono	Alternativas
1	2560	N	N	N	C
2	1358	N	N	N	C
3	3579	S	N	N	C
4	987	N	N	N	C
5	2687	N	N	N	C
6	3651	N	N	N	C
7	1243	N	N	N	C
8	4253	S	N	N	C
9	1897	N	N	N	C
10	2635	N	N	N	C
11	1856	N	N	N	C
12	1589	N	S	N	D
13	854	N	N	N	C
14	956	N	N	S	A
15	1456	N	N	N	C
16	2514	N	N	N	C
17	1032	N	N	N	C
18	798	N	N	N	C
19	2987	N	N	N	C
20	1568	N	N	N	C
21	1698	N	N	N	C
22	4568	S	N	N	C
23	1789	N	N	N	C
24	2036	N	N	N	C
25	5014	S	N	N	C
26	1056	N	N	N	C
27	987	N	S	N	D
28	1120	N	N	N	C
29	4015	S	N	N	C
30	1688	N	N	N	C
31	3879	N	N	N	C
32	1658	N	N	N	C
33	1589	N	N	N	C
34	2781	N	N	N	C
35	1589	N	N	N	C
36	789	N	N	S	A
37	1543	N	N	N	C
38	875	N	N	N	C
39	905	N	N	N	C
40	1020	N	N	N	C

## Pull out de 1ª Extremidade

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa C:** Pull out de 1ª extremidade, deposição temporária no leito e recolhimento posterior

## Pull out de 2ª Extremidade

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

## Resultados do “caso base” para as funções objetivo do Estudo de Caso UEP-2

	Custo Riser (USD MM)	Riser e UEP (USD MM)	Emissão CO <sub>2</sub> (mil Ton)	Total (USD MM)
Alt. A	2,17	3,32	17,19	3,49
Alt. C	48,20	59,23	328,08	62,51
Alt. D	2,11	3,23	16,83	3,40
Tamponamento da linha de óleo	1,00	1,00	14,21	1,14
Transporte	7,20	7,20	63,44	7,83
Descarregamento	21,60	21,60	19,03	21,79
<b>TOTAL:</b>	<b>82,28</b>	<b>95,59</b>	<b>458,78</b>	<b>100,18</b>

\_\_\_\_\_

- **Alternativa A:** Desconexão na CRF, pull out de 1ª extremidade e recolhimento
- **Alternativa C:** Pull out de 1ª extremidade, deposição temporária no leito e recolhimento posterior

- **Alternativa D:** Desconexão na CRF, pull out de 2ª extremidade e recolhimento

	Padrão	RSV e PLSV			
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	D
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	D	D	D	D	D
	C	D	C	D	D
	A	D	D	D	D
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	D
	C	D	D	D	D
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	C
	A	D	D	D	D
	C	D	C	D	C
	C	D	C	D	D
	C	D	C	D	D
Riser (USDMM):	82,28	73,18	81,93	73,18	79,93
Riser e UEP (USDMM):	95,59	96,13	95,46	96,13	95,47
Emissão CO <sub>2</sub> (mil Ton):	458,78	439,99	457,72	439,99	453,67
TOTAL (USDMM):	100,18	100,53	100,03	100,53	100,01
Otimização Riser (%):	100%	88,94%	99,57%	88,94%	97,14%
Otimização Riser e UEP (%):	100%	100,56%	99,86%	100,56%	99,87%
Otimização Emissão CO <sub>2</sub> (%):	100%	95,90%	99,77%	95,90%	98,89%
Otimização TOTAL (%):	100%	100,35%	99,85%	100,35%	99,83%

\_\_\_\_\_

Otimização Riser em relação ao RSV (%)	<b>91,1%</b>	81,4%	91,1%	83,4%
Otimização Riser e UEP em relação ao RSV (%)	82,6%	<b>83,2%</b>	82,6%	83,2%
Otimização Emissão CO2 em relação ao RSV (%)	66,2%	63,6%	<b>66,2%</b>	64,2%
Otimização TOTAL em relação ao RSV (%)	81,9%	82,3%	81,9%	<b>82,3%</b>

## Otimizações alcançadas para o Estudo de Caso UEP-2

Função Objetivo	Caso Base	Otimização	Ganho Percentual
Riser	USD 82,28 MM	USD 66,68 MM	15,60 %
Riser e UEP	USD 95,59 MM	USD 79,41 MM	16,18 %
Emissão CO <sub>2</sub>	458,78 mil ton	291,07 mil ton	167,71 %
Custo TOTAL (Riser, UEP e CO <sub>2</sub> )	USD 100,18 MM	USD 82,32 MM	17,86 %

# Conclusões e Recomendações

---

- GA se mostrou efetivo como ferramenta para as seguintes otimizações das atividades de *pull out* de risers:
- **Custos;**
- **Emissões de CO<sub>2</sub>;**
- **Embarcações;**
- **Combinação de alternativas para realização de *pull out* de risers, considerando os custos, emissões de CO<sub>2</sub> e embarcações disponíveis**