

5 Resultados Numéricos

O modelo matemático desenvolvido na Seção 3.4 é aqui utilizado para otimizar as posições orbitais dos satélites de sistemas que compartilham a órbita de satélites geoestacionários.

A minimização da parcela utilizada do arco orbital, foi feita considerando três situações específicas:

- Situação A: Foram consideradas apenas as restrições de níveis de Razão Portadora Interferência de entrada única (3-23) e de arco de serviço (3-25).
- Situação B: Além das restrições consideradas na Situação A, foram consideradas as restrições de níveis de Razão Portadora Interferência agregada sobre cada sistemas (3-24).
- Situação C: Esta situação ilustra a aplicação do modelo desenvolvido na otimização localizada da órbita. Nela, além das restrições consideradas na Situação B, foram incluídas restrições adicionais de $(C/I)_{ij}$ ¹ e $(C/I)_i$ ² devidos aos sistemas que possuem posições orbitais nas vizinhança das extremidades do arco de serviço a ser otimizado. As posições orbitais desses sistemas permanecerem fixas durante o processo de otimização.

A metodologia de otimização de arcos orbitais foi aplicada em dois exemplos específicos. No primeiro exemplo (Exemplo 1), foram considerados sistemas domésticos cobrindo países da América Latina. No segundo exemplo (Exemplo 2), foram considerados sistemas domésticos cobrindo países da Europa. Em cada um desses exemplos foram consideradas as três

¹A notação $(C/I)_{ij}$ refere-se a Razão Portadora-Interferente de entrada única no sistema i , sendo j o sistema interferente.

²A notação $(C/I)_i$ refere-se a Razão Portadora-Interferente de entrada agregada sobre o sistema i .

situações descritas anteriormente, esses exemplos são apresentados a seguir.

Exemplo 1:

Os parâmetros dos sistemas considerados neste exemplo são os mesmos que foram utilizados na elaboração do Plano do Serviço Fixo por Satélite Elaborado pela UIT em 1988 [6]. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Parâmetros utilizados dos sistemas considerados no Exemplo 1

	País	Sist.	θ_B [graus]	ϕ_B [graus]	ϕ_{01} [graus]	ϕ_{02} [graus]	γ [graus]	$e.i.r.p_{ET}$ [dB(W/hz)]	$e.i.r.p_{SAT}$ [dB(W/hz)]
1	Venezuela	VEN	-66,4	6,8	2,8	2,1	142,0	5,8	-22,7
2	Argentina	ARG	-62,0	-33,6	4,8	2,9	93,0	10,3	-21,9
3	Bolívia	BOL	-64,4	-17,1	2,7	1,7	129,0	5,2	-22,5
4	Brasil 1	B1	-62,6	-6,0	4,1	4,0	43,0	10,7	-22,4
5	Cuba	CUB	-79,5	21,0	2,0	1,0	172,0	1,0	-24,6
6	Paraguai	PRG	-58,7	-23,1	1,5	1,3	116,0	1,6	-22,8
7	Guiana	GUY	-59,2	4,7	1,4	1,0	94,0	-0,5	-22,8
8	Uruguai	URG	-56,3	-33,7	1,1	1,0	58,0	-5,6	-27,7
9	Brasil 2	B2	-45,4	-6,3	4,6	4,1	152,0	11,3	-22,4
10	Brasil 3	B3	-50,0	-20,9	4,3	3,0	60,0	9,8	-22,2

Nesta tabela, θ_B representa a longitude da direção de apontamento da antena de transmissão do satélite, ϕ_B representa a latitude da direção de apontamento da antena de transmissão do satélite, ϕ_{01} , ϕ_{02} e γ representam as quantidades definidas no Apêndice A.2 e são relacionadas aos ângulos que definem a elipse do contorno de -3dB no plano perpendicular a direção de apontamento.

As áreas de coberturas associadas aos sistemas considerados neste exemplo estão ilustradas na Figura 5.1. Os arcos de serviço associados aos sistemas considerados estão apresentados na Tabela 5.2.

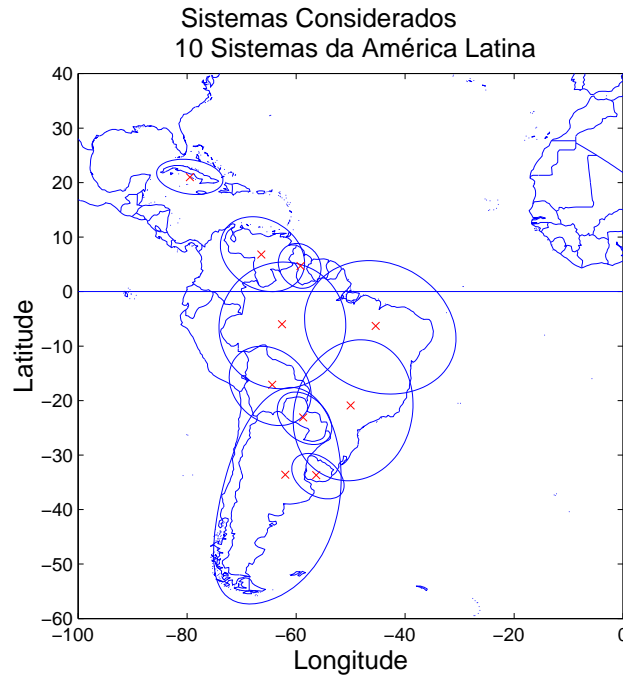


Figura 5.1: Sistemas considerados que cobrem países da América Latina

Tabela 5.2: Arco de Serviço associado ao sistemas do Exemplo 1

Sistema	limite inferior [graus]	limite superior [graus]
1	-92,0	-60,1
2	-85,0	-49,1
3	-78,0	-42,1
4	-75,0	-49,1
5	-65,0	-38,1
6	-60,0	-25,0
7	-49,0	-21,0
8	-48,9	-19,0
9	-42,0	-10,0
10	-38,0	0

Neste exemplo, que envolve 10 sistemas ($n = 10$), os valores mínimos permissíveis de $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ foram tomados, respectivamente, iguais a

$$L_{se} = 30dB$$

$$L_{ag} = 26dB$$

Exemplo1 - Situação A:

Para a situação A onde apenas as restrições de Razão Portadora-Interferência de entrada única e de arco de serviço foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -64,54^\circ \\ x_2 = -60,68^\circ \\ x_3 = -65,56^\circ \\ x_4 = -57,88^\circ \\ x_5 = -53,88^\circ \\ x_6 = -44,14^\circ \\ x_7 = -45,67^\circ \\ x_8 = -48,90^\circ \\ x_9 = -40,39^\circ \\ x_{10} = -36,57^\circ \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_3, x_1, x_2, x_4, x_5, x_8, x_7, x_6, x_9, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-1) é ilustrado na Figura 5.2.

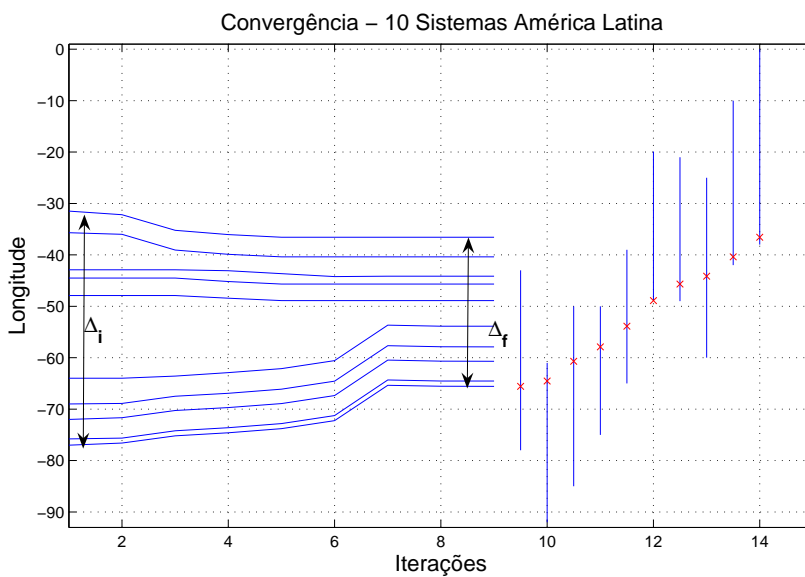


Figura 5.2: Convergência para o Exemplo 1-Situação A

Note que o processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 45, 50^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela de arco orbital $\Delta_f = 28, 99^\circ$. Observa-se ainda na Figura 5.2 que a solução encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Os valores de $(C/I)_{ij}$ correspondente à solução ótima encontrada estão apresentados na Tabela 5.3, todos maiores ou iguais a 30dB.

Tabela 5.3: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	3	1	2	4	5	8	7	6	9	10
3	0	30,4	30,0	35,0	51,9	63,2	62,2	51,3	55,7	51,0
1	31,0	0	38,8	34,0	55,2	57,9	50,4	60,7	53,0	63,1
2	35,8	43,4	0	30,2	42,8	55,2	54,6	51,0	55,0	51,1
4	40,5	39,2	30,0	0	42,1	54,1	46,5	52,7	47,3	52,0
5	45,4	48,3	31,1	30,0	0	39,7	48,4	44,9	42,1	43,7
8	46,9	41,2	33,5	32,3	30,0	0	30,0	34,6	31,4	30,8
7	56,3	44,0	43,6	34,9	49,0	40,4	0	30,1	30,0	41,2
6	46,8	55,6	40,6	42,5	46,8	46,1	31,4	0	31,6	32,7
9	61,9	58,8	55,5	47,8	54,9	53,8	42,2	42,4	0	31,3
10	55,8	67,3	50,1	51,3	54,9	51,6	51,8	42,0	30,0	0

Note que alguns valores dessa tabela são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{ij}$, o que significa que, conforme esperado, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.3 e 5.4, ilustram, respectivamente as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

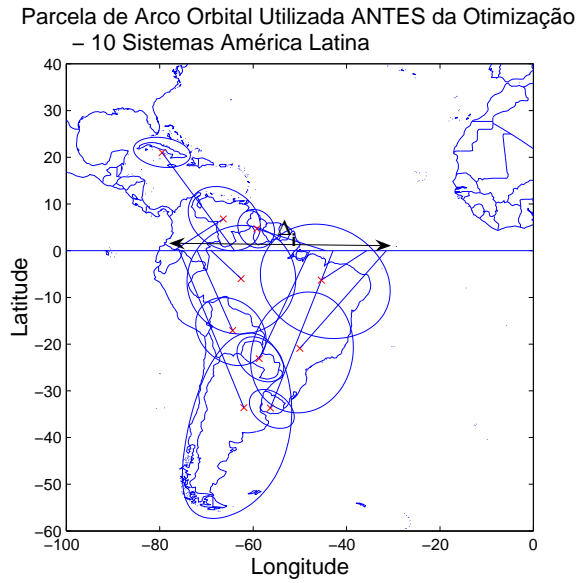


Figura 5.3: Posições orbitais, antes a otimização, dos sistemas considerados.

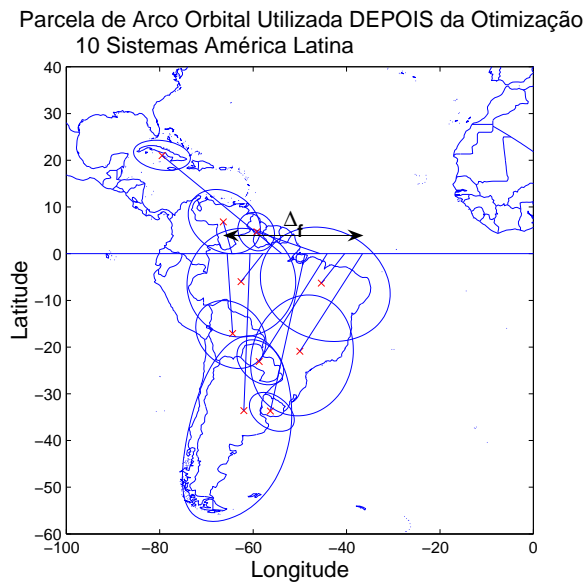


Figura 5.4: Posições orbitais, após a otimização, dos sistemas considerados.

Exemplo1 - Situação B:

Para a Situação B onde as restrições de Razão Portadora Interferência de entrada única, de Razão Portadora Interferência de entrada agregada e

de arco de serviço foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -63,18^\circ \\ x_2 = -61,46^\circ \\ x_3 = -43,67^\circ \\ x_4 = -58,55^\circ \\ x_5 = -39,95^\circ \\ x_6 = -54,23^\circ \\ x_7 = -41,89^\circ \\ x_8 = -48,90^\circ \\ x_9 = -35,43^\circ \\ x_{10} = -31,59^\circ \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_1, x_2, x_4, x_6, x_8, x_3, x_7, x_5, x_9, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-2) é ilustrado na Figura 5.5.

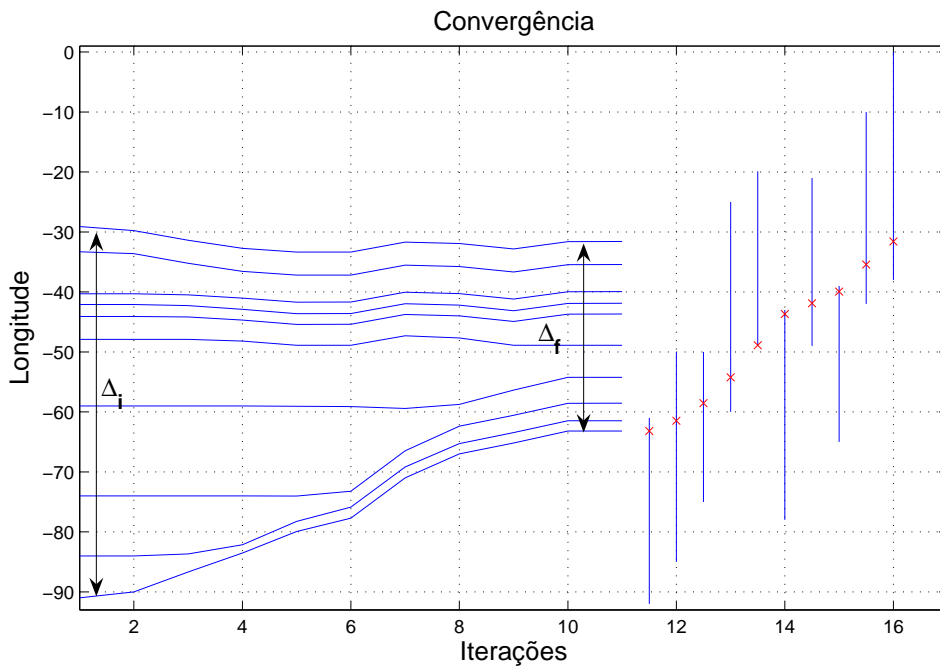


Figura 5.5: Convergência para o Exemplo 1-Situação B

O processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 61,90^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela

de arco orbital de $\Delta_f = 31,59^\circ$. Nota-se na Figura 5.5 que a solução encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Ao compararmos a solução da Situação B com a Situação A, a parcela de arco orbital utilizada é maior do que na situação A, como era de se esperar, uma vez que na Situação B contém restrições adicionais.

Os valores de $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ correspondentes a solução ótima encontrada estão apresentados nas tabelas 5.4 e 5.5, respectivamente.

Tabela 5.4: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	1	2	4	6	8	3	7	5	9	10
1	0	30,0	30,0	51,7	56,9	63,1	51,7	63,3	54,2	64,4
2	34,6	0	30,6	42,1	55,9	49,9	57,5	55,4	57,4	53,4
4	35,2	30,5	0	40,2	54,9	47,6	49,9	58,9	50,3	54,6
6	46,6	31,8	30,0	0	47,0	39,1	54,1	50,8	49,0	45,2
8	40,2	34,2	33,0	35,5	0	34,5	38,4	36,2	36,3	34,8
3	62,5	44,0	42,0	43,5	50,6	0	35,9	39,5	41,6	41,2
7	45,2	46,4	38,2	52,8	48,7	30,0	0	33,3	31,6	42,5
5	56,3	43,5	46,5	48,5	45,6	32,7	32,4	0	30,0	35,6
9	59,9	57,9	50,8	59,8	58,8	47,8	43,7	43,1	0	31,3
10	68,5	52,3	53,7	54,5	55,5	46,0	53,0	47,0	30,0	0

Tabela 5.5: Razão Portadora-Interferência de entrada agregada sobre os sistemas vítimas

Sistema	$(C/I)_i$ [dB]
1	27,0
2	30,0
4	29,6
6	27,5
8	26,0
3	32,1
7	26,3
5	26,0
9	30,9
10	30,0

Note que alguns valores dessas tabelas são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$, o que significa que, conforme esperado, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.6 e 5.7, ilustram, respectivamente, as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

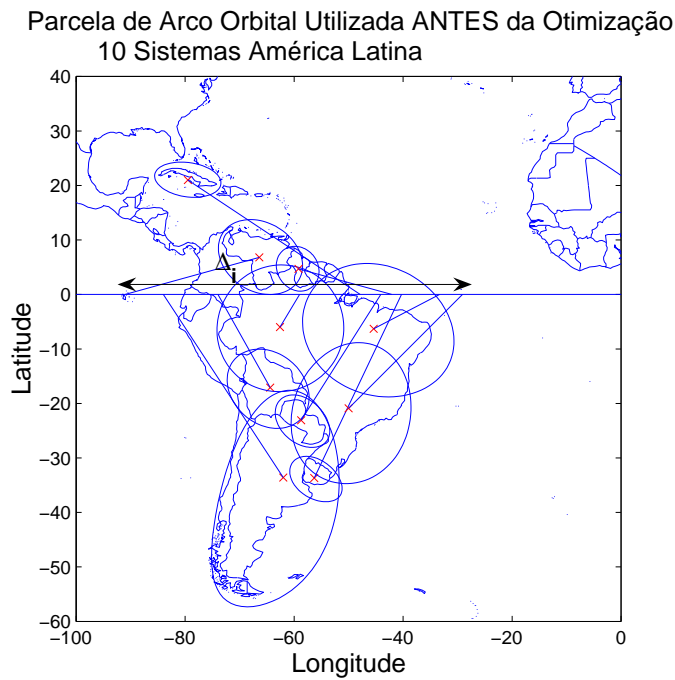


Figura 5.6: Posições orbitais, antes a otimização, dos sistemas considerados.

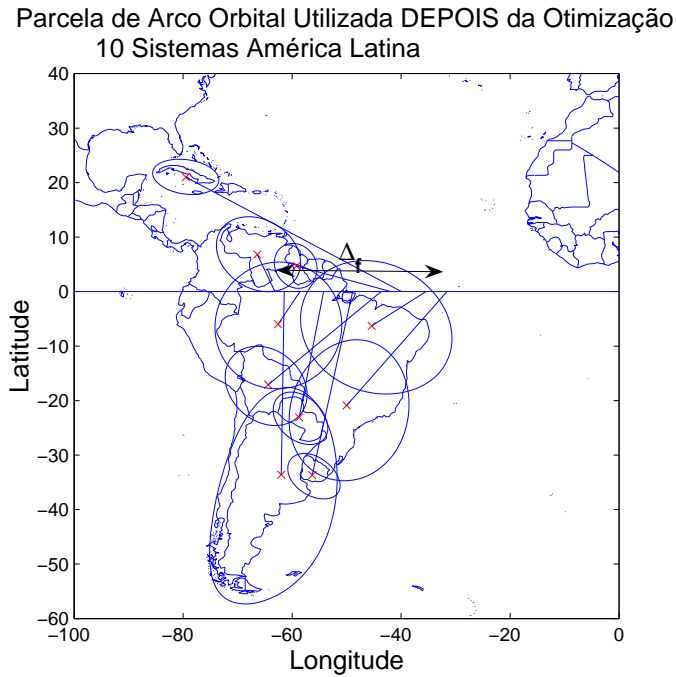


Figura 5.7: Posições orbitais, após a otimização, dos sistemas considerados.

Exemplo 1 - Situação C:

Para a Situação C, que corresponde a uma otimização localizada do arco orbital, foram incluídos dois sistemas adicionais, com posições orbitais na vizinhança das extremidades do arco a ser otimizado. Assim, além dos sistemas da Tabela 5.1, foram incluídos os sistemas apresentados na Tabela 5.6[6].

Tabela 5.6: Parâmetros utilizados nos sistemas adicionais do Exemplo 1, Situação C.

Pais	Sist.	Pos. Orbital	θ_B [graus]	ϕ_B [graus]	ϕ_{01} [graus]	ϕ_{02} [graus]	γ [graus]	e.i.r.p. <i>ET</i> [dB(W/hz)]	e.i.r.p. <i>SAT</i> [dB(W/hz)]
Suriname	SUR	-23,0	-55,6	3,9	1,0	0,9	37,0	-2,7	-23,2
Chile	CHL	-70,0	-82,6	-32,8	8,1	6,1	155,0	9,9	-28,4

As posições orbitais desses sistemas permanecem fixas durante o processo de otimização.

Nesta situação onde restrições de Razão Portadora Interferência de entrada única, de Razão Portadora Interferência de entrada agregada e de

arco de serviço foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -60,93^\circ \\ x_2 = -62.76^\circ \\ x_3 = -53.77^\circ \\ x_4 = -65.56^\circ \\ x_5 = -56.62^\circ \\ x_6 = -40.72^\circ \\ x_7 = -42.94^\circ \\ x_8 = -48.26^\circ \\ x_9 = -37.47^\circ \\ x_{10} = -33.64^\circ \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_4, x_2, x_1, x_5, x_3, x_8, x_7, x_6, x_9, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-3) é ilustrado na Figura 5.8.

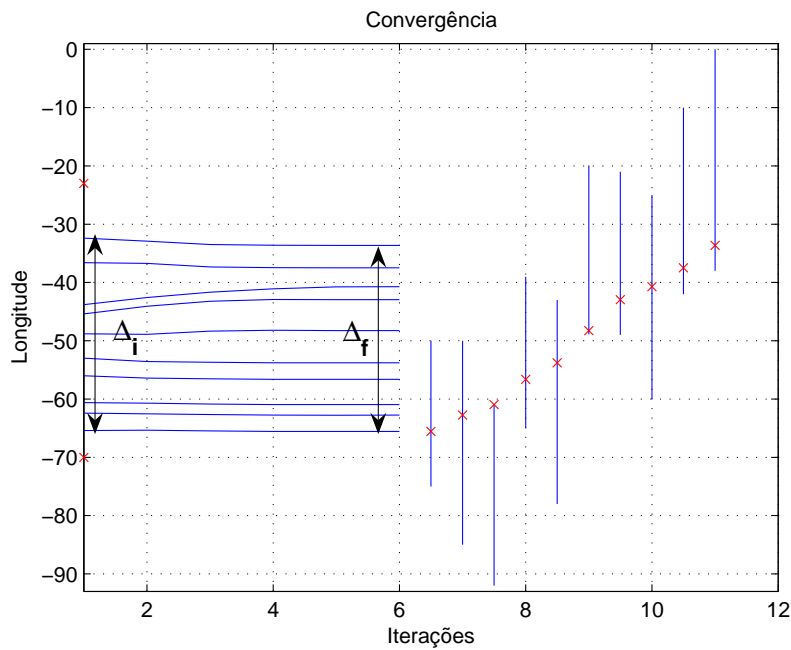


Figura 5.8: Convergência para o Exemplo 1, Situação C

O processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 33^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela de arco orbital de $\Delta_f = 31,92^\circ$. Nota-se na Figura 5.8 que a solução encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Ao compararmos a solução da Situação C com a Situação B, a parcela de arco orbital utilizada é maior do que na Situação B, como era de se esperar, uma vez que a Situação C possui restrições adicionais.

Os valores de $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ correspondentes a solução ótima encontrada estão apresentados nas tabelas 5.7 e 5.8, respectivamente.

Tabela 5.7: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	4	2	1	5	3	8	7	6	9	10
4	0	30,0	35,2	50,7	45,0	61,2	53,2	59,0	52,3	55,9
2	30,1	0	35,2	41,6	42,4	57,5	57,5	53,9	57,3	53,1
1	30,0	30,7	0	45,2	52,2	55,5	49,9	60,6	52,5	62,8
5	38,6	30,0	38,4	0	30,0	45,4	54,3	50,2	45,9	46,7
3	39,4	36,7	51,6	36,5	0	51,2	55,5	45,9	50,2	46,9
8	39,3	35,8	38,8	35,7	35,0	0	35,4	39,7	33,9	33,1
7	41,5	46,5	43,4	54,8	49,6	45,7	0	34,1	30,0	41,3
6	48,8	43,5	55,5	52,1	41,3	51,2	35,4	0	30,0	32,2
9	52,9	57,8	58,2	58,6	56,3	56,4	42,2	40,9	0	31,2
10	55,2	52,0	66,9	57,8	51,7	53,8	51,9	41,4	30,0	0

Tabela 5.8: Razão Portadora-Interferência de entrada agregada sobre os sistemas vítimas

Sistema	$(C/I)_i$ [dB]
4	29,01
2	29,18
1	27,17
5	26,10
3	31,99
8	26,00
7	27,94
6	27,11
9	30,95
10	29,88

Note que alguns valores dessas tabelas são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$, o que significa que, conforme esperado, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.9 e 5.10, ilustram, respectivamente, as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

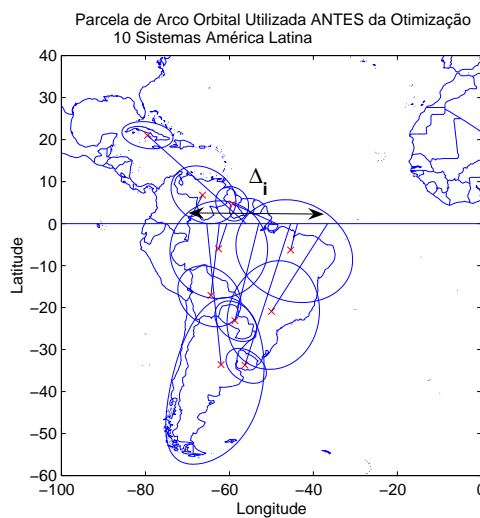


Figura 5.9: Posições orbitais dos sistemas considerados antes a otimização

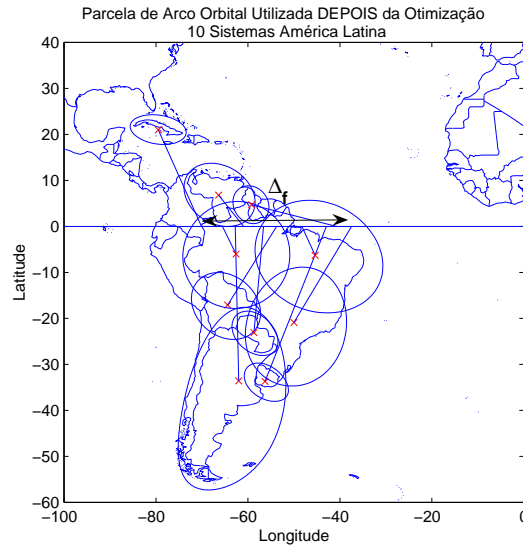


Figura 5.10: Posições orbitais dos sistemas considerados após a otimização

Exemplo 2:

Os parâmetros dos sistemas considerados neste exemplo são os mesmos que foram utilizados na elaboração do Plano do Serviço Fixo por Satélite Elaborado pela UIT em 1988 [6]. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Parâmetros utilizados dos sistemas considerados no Exemplo 2

	País	Sist.	θ_B [graus]	ϕ_B [graus]	ϕ_{01} [graus]	ϕ_{02} [graus]	γ [graus]	$e.i.r.p_{ET}$ [dB(W/hz)]	$e.i.r.p_{SAT}$ [dB(W/hz)]
1	Portugal	POR	-8,0	39,7	0,8	0,8	60,0	-8,1	-28,1
2	Espanha	E	-3,0	39,9	2,1	1,2	8,0	-1,8	-27,8
3	França	F	3,1	45,9	2,1	1,1	168,0	-0,2	-26,3
4	Irlanda	IRN	54,3	33,0	3,7	1,5	143,0	2,0	-27,5
5	Suiça	SUI	8,2	46,5	0,8	0,8	90,0	-9,3	-29,4
6	Italia	IO	11,3	40,9	2,1	1,0	141,0	-0,7	-26,4
7	Bulgaria	BUL	25,6	42,8	0,8	0,8	90,0	-7,9	-28,1
8	Alemanha	G	-4,1	53,9	1,6	1,0	178,0	-4,3	-28,0
9	Hungria	HNG	19,4	47,4	0,8	0,8	90,0	-7,9	-28,1
10	Romenia	ROU	25,0	46,3	1,5	1,0	178,0	-4,3	-28,0

Nesta tabela, θ_B representa a longitude da direção de apontamento da antena de transmissão do satélite, ϕ_B representa a latitude da direção de apontamento da antena de transmissão do satélite, ϕ_{01} , ϕ_{02} e γ representam as quantidades definidas no Apêndice A.2.

As áreas de cobertura associadas aos sistemas considerados neste exemplo estão ilustradas na Figura 5.11. Os arcos de serviço associados estão apresentados na Tabela 5.10.

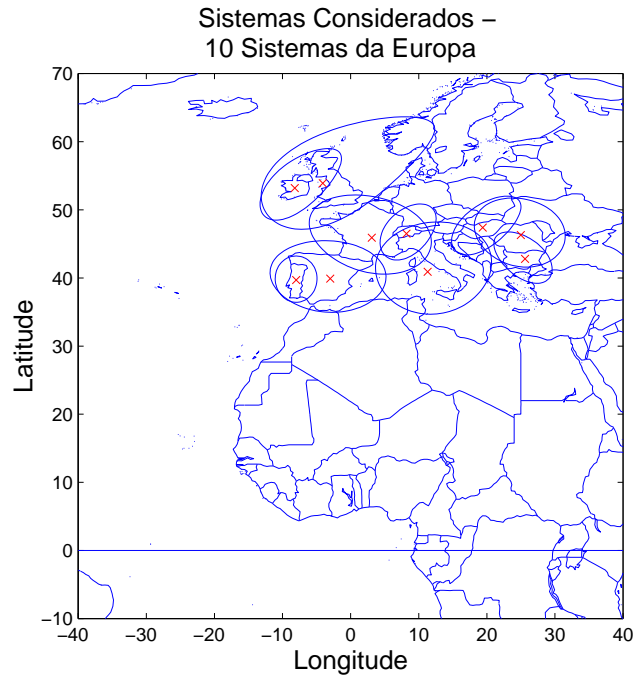


Figura 5.11: Sistemas considerados que cobrem países da Europa

Tabela 5.10: Arco de Serviço Associado ao sistemas do Exemplo 2

Sistema	limite inferior [graus]	limite superior [graus]
1	-55,0	-22,0
2	-50,0	-11,0
3	-30,0	9,0
4	-30,0	9,0
5	-20,0	9,0
6	4,0	34,0
7	10,0	42,0
8	10,0	42,0
9	35,0	60,0
10	35,0	65,0

Neste exemplo, que envolve 10 sistemas ($N = 10$), os valores mínimos permissíveis de $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ foram tomados iguais a

$$L_{se} = 30dB$$

$$L_{ag} = 26dB$$

da mesma forma que o Exemplo 1.

Exemplo2 - Situação A:

Para a situação A onde apenas as restrições de Razão Portadora Interferência de entrada única e de arco de serviço foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -22,00^\circ \\ x_2 = -16,44^\circ \\ x_3 = -3,56^\circ \\ x_4 = -9,78^\circ \\ x_5 = -11,02^\circ \\ x_6 = 4,10^\circ \\ x_7 = 10,10^\circ \\ x_8 = 36,92^\circ \\ x_9 = 35,00^\circ \\ x_{10} = 39,48^\circ \end{bmatrix} \quad (5-4)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_1, x_2, x_5, x_4, x_3, x_6, x_7, x_9, x_8, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-4) é ilustrado na Figura 5.12.

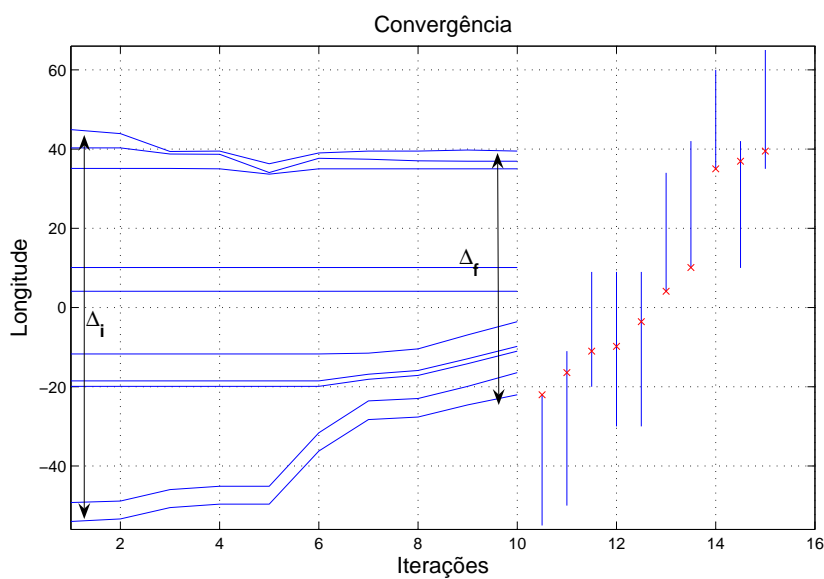


Figura 5.12: Convergência para o Exemplo 2-Situação A

Note que o processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 98, 90^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela de arco orbital $\Delta_f = 61, 50^\circ$. Observa-se ainda na Figura 5.12 que a solução encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Os valores de $(C/I)_{ij}$ correspondente à solução ótima encontrada estão apresentados na Tabela 5.11, todos maiores ou iguais a 30dB.

Tabela 5.11: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	1	2	5	4	3	6	7	9	8	10
1	0	31,8	56,3	58,8	47,2	56,6	59,9	63,1	60,9	61,3
2	38,4	0	39,1	51,8	41,8	49,0	60,0	64,5	59,7	66,8
5	53,5	30,1	0	30,0	31,1	38,7	58,2	58,9	49,7	59,7
4	56,0	42,7	30,0	0	31,9	46,2	52,9	62,3	49,8	58,4
3	57,0	45,0	43,2	44,0	0	38,0	56,0	67,1	56,0	64,9
6	65,7	51,6	50,3	58,0	37,3	0	49,2	65,3	57,3	64,7
7	62,1	55,6	63,1	57,7	48,6	42,5	0	54,8	56,0	51,2
9	63,1	57,8	61,6	65,0	57,5	56,3	52,7	0	30,0	30,0
8	64,5	57,6	56,8	56,6	50,8	52,7	57,5	33,7	0	36,7
10	65,1	63,8	66,1	64,8	59,1	59,4	52,9	33,6	36,1	0

Note que poucos valores dessa tabela são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{ij}$. Diferente do Exemplo 1, os sistemas x_1 e x_9 , conforme equação (5-4), estão no limite do arco de serviço restringindo a redução da parcela de orbital utilizada.

Conforme esperado, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.13 e 5.14, ilustram, respectivamente as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

Parcela de Arco Orbital Utilizada ANTES da Otimização
10 Sistemas da Europa

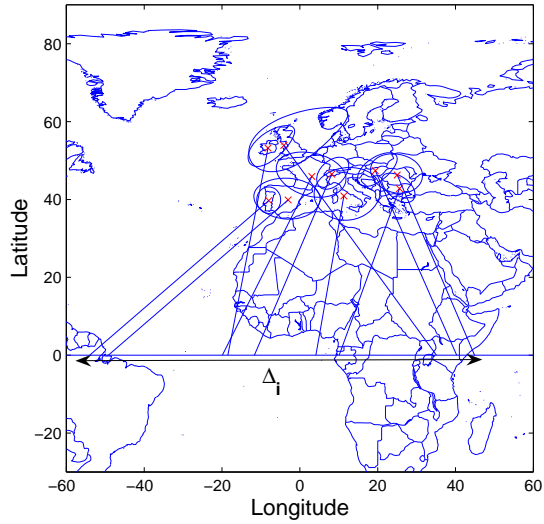


Figura 5.13: Posições orbitais, antes a otimização, dos sistemas considerados.

Parcela de Arco Orbital Utilizada DEPOIS da Otimização
10 Sistemas da Europa

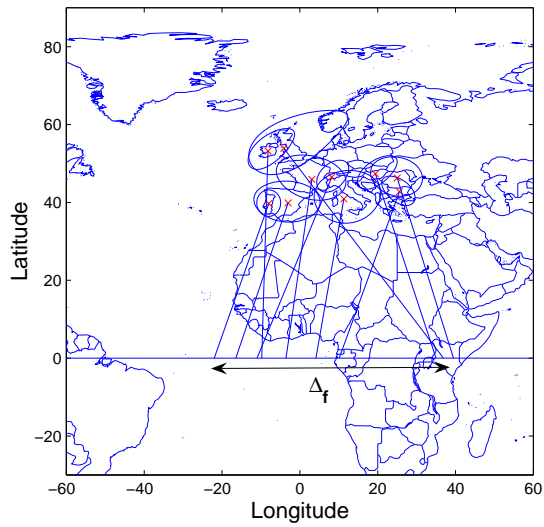


Figura 5.14: Posições orbitais, após a otimização, dos sistemas considerados.

Exemplo2 - Situação B:

Para a Situação B onde as restrições de Razão Portadora Interferência de entrada única, de Razão Portadora Interferência de entrada agregada e

de arco de serviço foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -22,00^\circ \\ x_2 = -17,28^\circ \\ x_3 = -12,93^\circ \\ x_4 = -20,60^\circ \\ x_5 = -6,50^\circ \\ x_6 = 4,10^\circ \\ x_7 = 10,10^\circ \\ x_8 = 37,92^\circ \\ x_9 = 35,00^\circ \\ x_{10} = 39,48^\circ \end{bmatrix} \quad (5-5)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_1, x_4, x_2, x_3, x_5, x_6, x_7, x_9, x_8, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-5) é ilustrado na Figura 5.15.

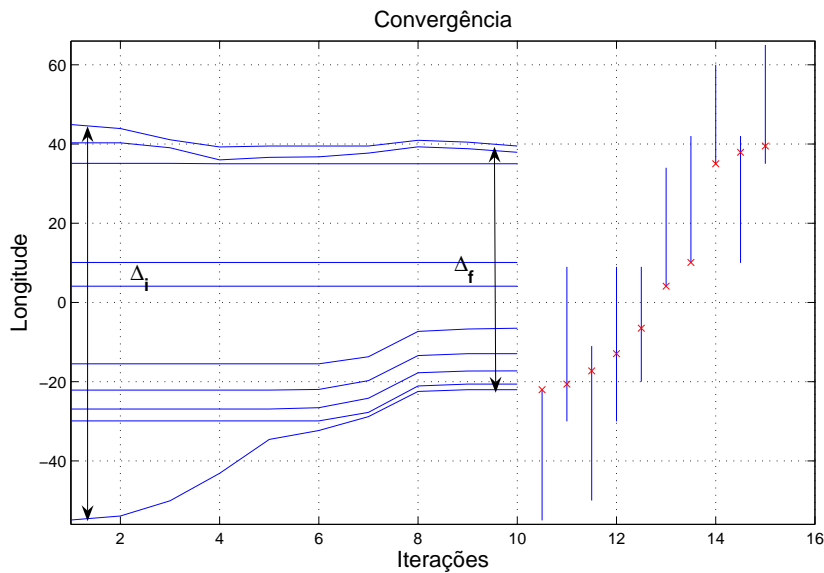


Figura 5.15: Convergência para o Exemplo 2 - Situação B

O processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 99.80^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela de arco orbital de $\Delta_f = 61.50^\circ$. Nota-se na Figura 5.15 que a solução

encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Ao compararmos a solução da Situação B com a Situação A, a parcela de arco orbital utilizada é igual nas duas situações. Apesar da Situação B possuir restrições adicionais, os sistemas x_1 e x_9 , conforme equação (5-5), estão no limite do arco de serviço restringindo a redução da parcela de orbital utilizada. As restrições adicionais da Situação B estão refletidas na mudança da ordem entre os sistemas 2, 3, 4 e 5.

Os valores de $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ correspondentes a solução ótima encontrada estão apresentados nas tabelas 5.12 e 5.13, respectivamente.

Tabela 5.12: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	1	4	2	3	5	6	7	9	8	10
1	0	35,3	30,1	38,4	59,9	56,6	59,9	63,1	61	61,4
4	32,5	0	34,9	36,3	56,6	52,1	57,7	62,5	50,0	58,8
2	36,7	44,0	0	30,0	46,8	49,4	60,4	64,5	59,7	66,7
3	48,1	48,4	33,3	0	42,5	46,6	61,5	64,9	56,1	63,3
5	57,2	56,6	37,7	30,5	0	34,9	55,6	60,2	49,7	60,0
6	65,7	64,0	52,0	46,1	46,5	0	49,2	65,3	57,4	64,7
7	62,2	62,6	55,9	54,1	60,5	42,5	0	54,9	56,4	51,3
9	63,2	65,2	57,8	55,5	62,8	56,3	52,8	0	34,3	30,0
8	64,6	56,8	57,6	50,9	56,8	52,8	57,9	38,0	0	30,9
10	65,2	65,3	63,7	57,5	66,6	59,5	53,0	33,7	30,3	0

Tabela 5.13: Razão Portadora-Interferência de entrada agregada sobre os sistemas vítimas

Sistema	$(C/I)_i$ [dB]
1	28,6
4	29,8
2	29,5
3	32,9
5	28,6
6	42,1
7	41,3
9	29,2
8	30,4
10	28,7

Assim como na Situação A, poucos valores dessas tabelas são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{ij}$ e $(C/I)_i$ pois alguns valores de (5-5) estão no limite do arco de serviço impedindo a redução da parcela do arco orbital utilizada.

Conforme esperado, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.16 e 5.17, ilustram, respectivamente, as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

Parcela de Arco Orbital Utilizada ANTES da Otimização
– 10 Sistemas Europa

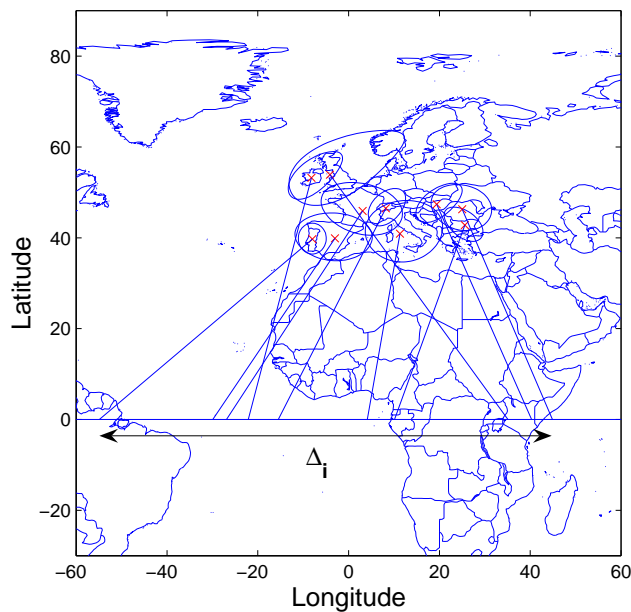


Figura 5.16: Posições orbitais, antes a otimização, dos sistemas considerados.

Exemplo 2 - Situação C:

Para a Situação C, que corresponde a uma otimização localizada do arco orbital, foram incluídos seis sistemas adicionais, com posições orbitais na vizinhança das extremidades do arco a ser otimizado. Assim, além dos sistemas da Tabela 5.9, foram incluídos os sistemas apresentados na Tabela 5.14[6].

Parcela de Arco Orbital Utilizada DEPOIS da Otimização
- 10 Sistemas Europa

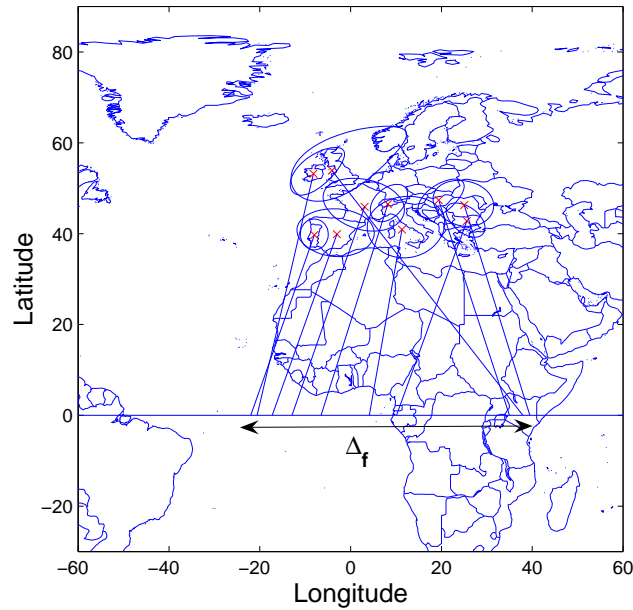


Figura 5.17: Posições orbitais, após a otimização, dos sistemas considerados.

Tabela 5.14: Parâmetros utilizados nos sistemas adicionais do Exemplo 2, Situação C.

País	Sist.	Pos. Orbital	θ_B [graus]	ϕ_B [graus]	ϕ_{01} [graus]	ϕ_{02} [graus]	γ [graus]	$e.i.r.p.ET$ [dB(W/hz)]	$e.i.r.p.SAT$ [dB(W/hz)]
Rep. Tcheca	TCH	-85,0	17,3	49,6	1,3	1,0	166,0	-4,2	-27,5
Austria	AUT	-75,0	-13,2	47,5	0,8	0,8	90,0	-7,2	-27,2
Holanda	HOL	-65,0	-5,4	52,4	0,8	0,8	90,0	-9,3	-30,8
Polônia	POL	75,0	-19,3	52,0	1,3	1,0	166,0	-6,1	-28,7
Albania	ALB	85,0	20,0	41,1	0,8	0,8	90,0	-7,7	-28,2
Luxemburgo	LUX	95,0	6,2	49,7	0,8	0,8	90,0	-9,3	-31,6

As posições orbitais desses sistemas permanecem fixas durante o processo de otimização.

Restrições de Razão Portadora Interferência de entrada única, de Razão Portadora Interferência de entrada agregada e de arco de serviço

foram consideradas, a solução encontrada foi

$$\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} x_1 = -22,00^\circ \\ x_2 = -17,28^\circ \\ x_3 = -12,93^\circ \\ x_4 = -20,60^\circ \\ x_5 = -6,50^\circ \\ x_6 = 4,10^\circ \\ x_7 = 10,10^\circ \\ x_8 = 37,92^\circ \\ x_9 = 35,00^\circ \\ x_{10} = 39,48^\circ \end{bmatrix} \quad (5-6)$$

Observe que a ordenação associada a esta solução que corresponde a menor ocupação da órbita é

$$[x_1, x_4, x_2, x_3, x_5, x_6, x_7, x_9, x_8, x_{10}]$$

O processo de convergência que levou a solução (5-6) é ilustrado na Figura 5.18.

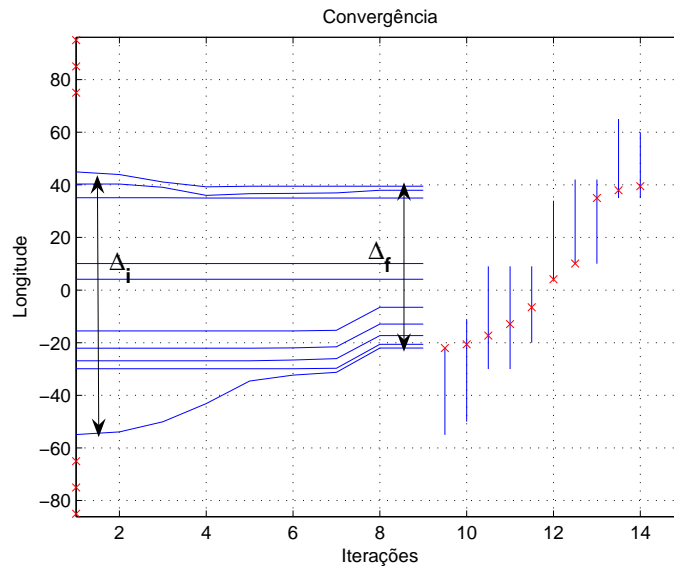


Figura 5.18: Convergência para o Exemplo 2, Situação C

O processo de otimização foi iniciado com uma parcela do arco orbital utilizada de $\Delta_i = 99,80^\circ$. Ao final do processo chegou-se a uma parcela de arco orbital de $\Delta_f = 61,50^\circ$. Nota-se na Figura 5.18 que a solução

encontrada satisfaz às restrições de arco de serviço.

Ao compararmos a solução da Situação C com a Situação B, a parcela de arco orbital utilizada é igual a parcela do arco orbital da situação B, uma vez que, diferente do Exemplo 1, os sistemas fixos foram posicionados a uma distância tal que a interferência gerada por estes nos sistemas que estão sendo otimizados é pequena. Assim, obtém-se a mesma solução da Situação B.

Os valores de $(C/I)_{se}$ e $(C/I)_{ag}$ correspondentes a solução ótima encontrada estão apresentados nas tabelas 5.15 e 5.16, respectivamente.

Tabela 5.15: Razão Portadora-Interferência de entrada única $(C/I)_{ij}$ em dB, onde i refere-se as linhas (sistemas vítima) e j refere-se as colunas (sistemas interferente)

sistema vítima	sistema interferente									
	1	4	2	3	5	6	7	9	8	10
1	0	35,3	30,0	38,3	59,8	56,6	59,9	63,1	60,9	61,3
4	32,5	0	34,8	36,2	56,5	52,1	57,7	62,4	50,0	58,7
2	36,6	43,9	0	30,0	46,7	49,4	60,3	64,4	59,7	66,6
3	48,1	48,4	33,2	0	42,5	46,6	61,4	64,9	56,0	63,3
5	57,1	56,6	37,7	30,4	0	34,9	55,6	60,1	49,7	60,0
6	65,7	64,0	52,0	46,0	46,4	0	49,2	65,3	57,4	64,7
7	62,1	62,6	55,9	54,0	60,4	42,5	0	54,8	56,3	51,2
9	63,1	65,1	57,8	55,4	62,8	56,3	52,7	0	34,3	30,0
8	64,6	56,8	57,6	50,8	56,7	52,7	57,9	38,0	0	30,9
10	65,1	65,2	63,6	57,5	66,5	59,4	52,9	33,6	30,3	0

Tabela 5.16: Razão portadora interferência de entrada Agregada sobre os sistemas vítimas

Sistema	$(C/I)_i$ [dB]
1	28,6
4	29,7
2	29,5
3	32,8
5	28,5
6	41,8
7	40,8
9	29,1
8	30,3
10	28,6

Note que alguns valores dessas tabelas são iguais ao valor mínimo admissível para $(C/I)_{se}$ e $(C/I)_{ag}$.

Apesar da solução encontrada na Situação C ser igual a da Situação B, existe uma diferença não significativa nos valores encontrados de $(C/I)_{se}$ e $(C/I)_{ag}$ devido aos sistemas adicionais fixos, como era de se esperar.

Assim como nos outros casos, a solução encontrada está na fronteira imposta pelos sistemas.

Para a ordenação que conduziu à solução ótima encontrada, as figuras 5.19 e 5.20, ilustram, respectivamente, as posições orbitais correspondentes ao valor inicial \tilde{x}_{01} e ao valor final (ótima) \tilde{x}^* . Nestas figuras as linhas pontilhadas conectam as posições orbitais aos centros das áreas de cobertura correspondente.

Parcela de Arco Orbital Utilizada ANTES da Otimização
- 10 Sistemas Europa

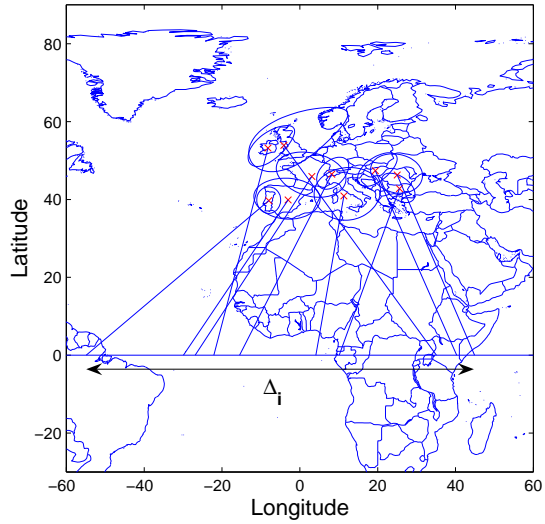


Figura 5.19: Posições orbitais dos sistemas considerados antes a otimização

Parcela de Arco Orbital Utilizada DEPOIS da Otimização
- 10 Sistemas Europa

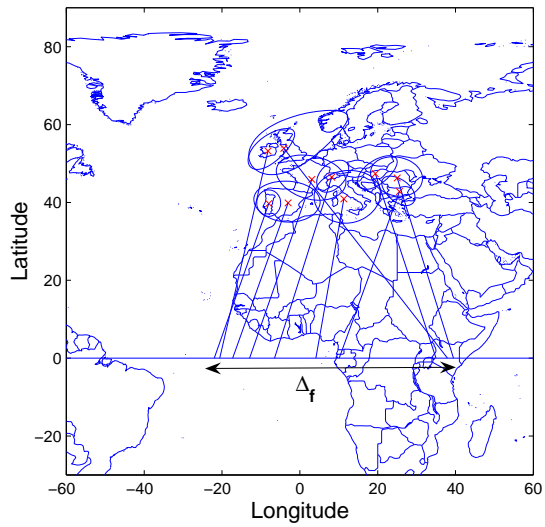


Figura 5.20: Posições orbitais dos sistemas considerados após a otimização