

Aplicação do algoritmo Infestação de Ervas Daninhas (IWO) ao problema multi-objetivo de alocação de objetos circulares

Michelle de Oliveira Parreira¹, Sherfis Gibran Ruwer², Sandra Sandri¹,
José Carlos Becceneri¹, Luiz Leduíno Salles Neto³

¹Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC)

²Divisão de Mecânica Espacial e Controle (DMC)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal – 515 – 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brazil

³Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Rua Talim, 330, 12231-280, São José dos Campos, SP, Brazil

parreira.michelle@gmail.com, sherfis@yahoo.com.br,
{sandri, becce}@lac.inpe.br, luiz.leduino@unifesp.br

***Abstract.** Bioinspired optimization algorithms, such as genetic algorithms and particle swarms, have been used to solve the problem of allocation of cylinders in a circular container. When the height of the cylinders is not considered, the problem is reduced to the allocation of circles, each one with a mass value. This article presents an implementation of the algorithm of infestation by weeds to solve this problem. It was used a multi-objective function that seeks to reduce the distance from the center of mass of the set to the axis of rotation of the circular container, in addition to minimize the total space allocated to the circles inside the container. Finally, it is proposed a new method that removes all the imbalance of the set.*

***Resumo.** Algoritmos de otimização bioinspirados, como algoritmo genético e enxame de partículas, têm sido utilizados na resolução do problema de alocação de cilindros em um recipiente circular. Quando não se considera a altura dos cilindros, o problema se reduz à alocação de círculos, cada um com um valor de massa. Este artigo apresenta a implementação do algoritmo de infestação por ervas daninhas para resolver este problema. Utiliza-se uma função multi-objetivo que busca reduzir a distância do centro de massa dos objetos e o eixo de rotação do recipiente circular, além de minimizar o espaço total alocado aos círculos dentro do recipiente. Por fim é proposto um novo método que permite anular totalmente o desbalanceamento do conjunto.*

1. Introdução

A alocação de um conjunto de objetos em um recipiente faz parte da área de Pesquisa Operacional e tem várias aplicações significativas, dentre as quais a alocação de carga útil em satélites artificiais. Uma das principais considerações a serem tomadas no projeto de alocação de carga em satélites é a minimização do espaço total ocupado pela carga. Além disso, a disposição da carga é importante, pois ela influi no centro de massa resultante do satélite, o qual sofre efeitos do desbalanceamento quando está girando em torno de seu eixo de rotação.

Quando os objetos que compõem a carga estão todos apoiados sobre uma única superfície e suas alturas puderem ser desconsideradas, o problema pode ser modelado de forma bidimensional. Essas simplificações são válidas para as análises de minimização do espaço e desbalanceamento de massa sobre o eixo de rotação perpendicular à superfície de apoio. O modelo fica então reduzido à alocação de círculos, representando os objetos cilíndricos da carga útil do satélite, cada qual associado a um valor positivo equivalente a massa do objeto, e distribuídos dentro de um círculo maior com raio igual ao do satélite. Vários trabalhos foram propostos na literatura para resolver esse problema (AKEB e LI (2005), HUANG *et al.* (2006), XIAO *et al.* (2006), LEI (2009)). Muitos desses trabalhos utilizam algoritmos de otimização inteligentes, dentre os quais se destacam os bio-inspirados (algoritmos baseados em simulações de ações da natureza) como Algoritmos Genéticos (BECCENERI e SILVA NETO 2009). e Colônia de Partículas (BECCENERI e SILVA NETO 2009).

Um dos mais recentes algoritmos de otimização bio-inspirados é aquele denominado Infestação de Ervas Daninhas (MEHRABIAN e LUCAS, 2006). Este algoritmo baseia-se na capacidade da infestação dessas ervas, conhecidas como plantas invasoras devido à sua alta capacidade de reprodução. Estudos demonstraram que, mesmo depois de 50 anos de existência de herbicidas, essas ervas continuam se multiplicando em um mesmo campo de análise, gerando espécies mais resistentes aos herbicidas. Isso se deve ao fato destas ervas possuírem capacidade de crescimento rápido, eficiência no uso da água, alta adaptação climática, curto intervalo entre floração e germinação, estruturas para dispersão que germinam em quase todos os substratos úmidos sem uma fertilização específica, alta dormência, alta longevidade e alta produção contínua (MEHRABIAN e LUCAS, 2006).

Além desse trabalho na área, podem ser encontradas aplicações por Tellez (2010) para o problema de Bin-Packing, que faz parte da área de Pesquisa Operacional. Esse autor sugere ainda os trabalhos de Hajimirsadeghi e Lucas (2009) para um Sistema de Vendas, e Rad e Lucas (2008) no desenvolvimento de um algoritmo híbrido IWO/PSO para otimização de parâmetros em Sistemas de Controle. Neste trabalho foi aplicada uma meta-heurística baseada no algoritmo bio-inspirado Infestação de Ervas Daninhas (MEHRABIAN e LUCAS, 2006) para otimização da alocação de objetos cilíndricos dentro de satélites.

Após estudo dos resultados, foi desenvolvido um novo método para remover o desbalanceamento das massas, isto é, ajustar o centro de massa do conjunto coincidente com o centro do recipiente. Este método é aplicado à solução do algoritmo IWO em uma fase de pós-processamento.

2. Definição do Problema – Alocação de Objetos Circulares

O problema a ser tratado neste trabalho refere-se à alocação de um conjunto de cilindros dentro de um recipiente também circular (vide AKEB e LI (2005), HUANG *et al.* (2006), XIAO *et al.* (2006) e LEI (2009)). A altura dos cilindros é considerada irrelevante, e o problema reduz-se à alocação de círculos, cada qual associado a uma massa positiva, dentro de outro círculo.

Neste trabalho, a superfície do recipiente é denotada por RC e seu raio por R . Considera-se a alocação de k círculos em RC , cada qual com raio r_i e massa m_i . Um par

ordenado (x_i, y_i) é relacionado ao centro de cada círculo. Os valores (x_i, y_i) de todos os círculos são calculados pelo algoritmo. A Figura 1 ilustra um exemplo com quatro círculos.

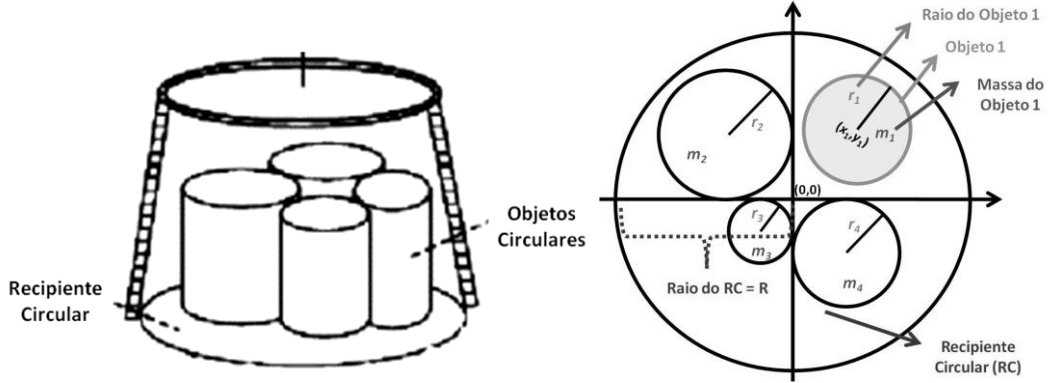


Figura 1. Objetos circulares alocados dentro de um Recipiente Circular. (Adaptação de XIAO et. al., 2006).

Cada solução do problema deve obedecer algumas restrições:

- O raio de cada círculo c_i deve ser menor que o raio de RC :

$$\forall i \in \{1, \dots, \kappa\}, r_i < R \quad (1)$$

- Dado um círculo c_i , a soma de seu raio com a distância do centro de RC até o centro de c_i está limitada pelo raio de RC :

$$\forall i \in \{1, \dots, \kappa\}, r_i + \sqrt{x_i^2 + y_i^2} < R \quad (2)$$

- Não pode haver sobreposição de dois círculos distintos c_i e c_j ($i \neq j$). Desta forma a distância entre os centros de dois objetos c_i e c_j , com as respectivas coordenadas (x_i, y_i) e (x_j, y_j) , deve ser maior ou igual à soma dos raios r_i e r_j desses objetos:

$$\forall i \in \{1, \dots, \kappa\}, \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \geq r_i + r_j \quad (3)$$

O intuito é alocar todos os objetos circulares c_i dentro da circunferência RC com a melhor ocupação do espaço, buscando alcançar o **menor raio para RC** . Para isso é necessário minimizar a função f_1 apresentada em (4) abaixo, em que $L = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_k, y_k)$ é o vetor com todas as coordenadas dos círculos.

$$f_1(L) = \max_{1 \leq i \leq k} (r_i + \sqrt{x_i^2 + y_i^2}) \quad (4)$$

Além da função f_1 , deve ser verificada a instabilidade de massa de RC após a inserção de todos os objetos c_i . Para analisar essa instabilidade é calculado o equilíbrio das massas dos objetos c_i . Segundo XIAO et. al. (2006) o desequilíbrio dinâmico é causado pelo deslocamento do centro de massa em relação ao centro de rotação do recipiente, que ao girar com velocidade angular ω sofre o efeito do desbalanceamento.

Porém, para o problema de alocação dos objetos no recipiente e análise da distribuição de suas massas, o cálculo do desbalanceamento independe da velocidade angular, podendo então considerar para desbalanceamento a Equação 5. Assim o desequilíbrio de massa é calculado levando-se em conta a massa de cada objeto e a distância do seu centro até o centro de *RC*. Para isso é necessário minimizar a função f_2 apresentada em (5) buscando a solução com a menor instabilidade possível.

$$f_2(L) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n m_i x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n m_i y_i\right)^2} \quad (5)$$

Por analisarmos duas funções diferentes e dependentes, denominamos este problema de função multi-objetivo. Para encontrar a melhor solução é importante que se minimize uma função global f , a qual dependerá de f_1 e f_2 . Essa dependência pode se tornar problemática já que, algumas vezes, melhorando a solução de uma das funções objetivo pode levar a outra função para uma situação menos satisfatória. Aqui optamos por uma função de agregação linear, que utiliza as constantes λ_1 e λ_2 como fatores, para compensar a relação de magnitude dos valores finais esperados para o raio e para o desbalanceamento de massa.

Temos assim um problema com duas funções objetivos conflitantes: o raio do RC (f_1) e o desequilíbrio de massa (f_2). Trata-se, assim, de um problema de otimização multi-objetivo, ou vetorial. Neste trabalho optamos por agregar os dois objetivos em uma única função, atribuindo pesos constantes λ_1 e λ_2 para as funções f_1 e f_2 , respectivamente.

$$f(L) = \lambda_1 f_1(L) + \lambda_2 f_2(L) \quad (6)$$

Neste trabalho, propõe-se realizar a eliminação da instabilidade de qualquer solução através de um ajuste, utilizando-se a Equação 7, onde dR é o acréscimo de raio devido ao ajuste feito no centro de massa.

$$dR = \frac{f_2(L)}{M} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n m_i x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n m_i y_i\right)^2}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (7)$$

O desbalanceamento calculado na Equação 5 é conhecido como primeiro momento de inércia de um sistema de massas. Dividindo-se essa grandeza pela massa total do sistema, conforme Equação 7, encontra-se a posição do centro de massa do conjunto. O deslocamento desse centro de massa em relação ao eixo de rotação do conjunto, juntamente com o montante de massa, é o responsável, por exemplo, pela instabilidade dinâmica durante a rotação de um satélite. Aplicando esse cálculo no resultado encontrado pelo processo de otimização, estima-se que os valores de deslocamento do centro de massa sejam muito menores que o raio total do recipiente. Assim, esse valor é somado vetorialmente para deslocar a posição de todos os círculos internos, o que provoca a eliminação do desbalanceamento, já que o centro de massa do conjunto é posicionado sobre o centro do recipiente, ao custo de um aumento no raio total, que se espera ser aceitável.

3. Otimização por Infestação de Ervas Daninhas (IWO)

Para se entender o algoritmo de ervas daninhas IWO (MEHRABIAN e LUCAS, 2006), são definidas algumas inter-relações entre o problema a ser otimizado e o processo natural de infestação de ervas daninhas. Por *erva daninha* entende-se uma solução do problema. A posição da erva daninha na sua colônia é definida pelo vetor de variáveis do problema, que no caso da alocação de círculos estudada neste trabalho é representada pelo vetor L . A aptidão de uma erva daninha descrita na sequência do trabalho é equivalente ao valor da função dado que a erva daninha está em uma posição na colônia que representa um conjunto de valores para as variáveis do problema.

A metodologia de infestação aplicada pode ser visualizada na Figura 2. Primeiramente é configurado um conjunto de parâmetros que regem o processo de evolução do algoritmo. O processo é iniciado com a criação da primeira geração de ervas daninhas. A partir daí é realizado um ciclo de iterações para representar a evolução da colônia. Cada iteração realiza a reprodução das ervas daninhas gerando as sementes novas, que em seguida são dispersadas e se tornam parte da população. A exclusão de ervas daninhas elimina as menos aptas dentre toda população mantendo a quantidade de indivíduos limitada conforme os parâmetros iniciais. O ciclo é repetido até alcançar o número de iterações definido nos parâmetros.

Ao final, com a quantidade máxima de iterações alcançada, espera-se encontrar a solução ótima global através da erva com melhor aptidão. A seguir são detalhadas cada uma das etapas do algoritmo.

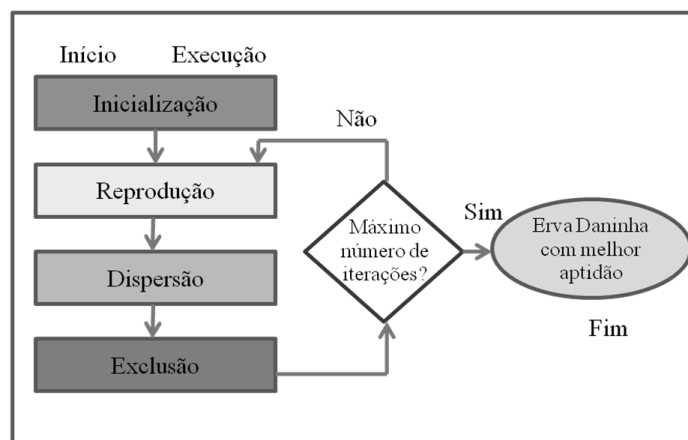


Figura 2. Metodologia desenvolvida.

3.1 Inicialização de Parâmetros

A escolha dos parâmetros de inicialização é fundamental para que se encontre uma convergência para a solução ótima global. Esses parâmetros são:

- $P_{initial}$ = (int) População inicial
- P_{max} = (int) População máxima
- $iter_{max}$ = (int) Número máximo de iterações
- $D_{problem}$ = (int) Dimensão do problema
- S_{max} = (int) Número máximo de sementes que uma erva daninha pode gerar em uma reprodução
- S_{min} = (int) Número mínimo de sementes que uma erva daninha pode gerar em uma reprodução
- n = (int) Módulo de não linearidade para cálculo da variância

- σ_{final} = (double) Variância final
- σ_{inicial} = (double) Variância inicial
- $A[i]$ = (double [][]) Área para dispersão da população inicial, onde:
- double[dimensão][0=limite mínimo; 1=limite máximo].

Os parâmetros auxiliares são informações geradas durante a execução do algoritmo e são apresentados a seguir.

- F_{min} = (double) Maior aptidão encontrada na população
- F_{max} = (double) Menor aptidão encontrada na população
- F_{weed} = (double) Aptidão de uma erva daninha
- iter = (int) Iteração corrente
- S_i = (int) Número de sementes para reprodução de uma erva daninha i
- σ_{iter} = (double) Variância aplicada em uma dada iteração

3.2 Reprodução

A reprodução ocorre no momento que cada erva daninha deve replicar e gerar novas sementes. Calcula-se, através da equação da reta inscrita no retângulo da Figura 3, o número de sementes a ser gerado em cada reprodução por cada erva daninha dada sua aptidão em relação às aptidões máxima e mínima na população naquela iteração (Equação 8) (MEHRABIAN, LUCAS, 2006). Destaca-se que nesse momento as sementes ainda não possuem posição na colônia.

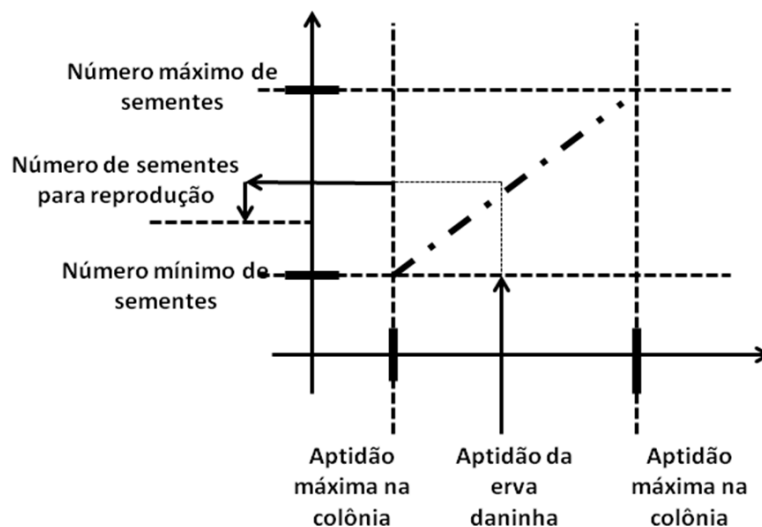


Figura 3. Procedimento de produção de sementes em uma colônia. Fonte: Mehrabian e Lucas (2006).

$$S_i = \left(\frac{F_{\text{weed}} - F_{\text{min}}}{F_{\text{max}} - F_{\text{min}}} \right) \cdot (S_{\text{max}} - S_{\text{min}}) + S_{\text{min}} \quad (8)$$

3.3 Dispersão

A dispersão é baseada no cálculo do desvio padrão σ_{iter} de uma determinada iteração que dependerá de iter_{max} , índice de modulação não linear n , desvio padrão inicial σ_{inicial} e desvio padrão final σ_{final} (Equação 9) (MEHRABIAN, LUCAS, 2006). Após calcular o desvio padrão de uma iteração i , é necessário gerar um vetor de valores randômicos de

uma distribuição normal centrada na posição $x_{i,0}$ da erva daninha pai. Cada um desses é o valor de uma variável do vetor de solução conforme Equação 10, onde rnd é um valor aleatório entre 0 e 1 que é aplicado à equação para gerar o valor de x_i de forma a seguir uma distribuição normal.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{(iter_{max})^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (9)$$

$$x_i = x_{i,0} \pm \sigma_{iter} \sqrt{-2 \ln(rnd)} \quad (10)$$

3.4 Exclusão Competitiva

O parâmetro de população máximo definido inicialmente é determinante para a continuidade de novas gerações. Após as novas ervas daninhas estarem distribuídas na colônia, elas são incorporadas à população total, o que pode tornar o número de indivíduos da população superior ao parâmetro P_{max} . Se ocorrer essa superpopulação, a exclusão das ervas com menor aptidão é realizada até que se mantenha o limite de população P_{max} . Com isto, apenas os sobreviventes poderão se reproduzir nas próximas iterações.

4. Resultados dos Experimentos

Nesta seção são apresentados os resultados dos experimentos numéricos com a implementação do algoritmo das ervas daninhas em relação a alguns trabalhos na literatura que aplicaram este algoritmo para o mesmo problema de alocação de círculos. Após algumas execuções, os melhores valores conseguidos para os parâmetros da Equação (6) foram $\lambda_1 = 100$ e $\lambda_2 = 0,5$.

A Tabela 2 apresenta o resultado gerado pela alocação de 10 objetos (Tabela 1). Para execução deste experimento utilizou-se dos seguintes parâmetros iniciais: $P_{initial}=40$, $P_{max}=100$, $iter_{Max}=200$, $D_{problem}=20$, $S_{max}=40$, $S_{min}=3$, $n=3$, $\sigma_{final}=0,0001$ e $\sigma_{inicial}=20$. Pode-se perceber que apesar do IWO não ter encontrado uma solução melhor que sugerido por XIAO *et al.* (2006), ‘Compaction+PSO’ (59,93) - apesar de muito próxima (60,21) - obteve melhor resultado para a média das soluções geradas a cada 10 execuções. O valor entre parênteses (dR) nas tabelas a seguir é o ajuste do centro de massa realizado no pós-processamento, quando a estabilidade é diferente de 0. Este valor é acrescido ao raio mínimo da solução instável, que resulta no raio final ajustado do recipiente circular e eliminação total da instabilidade. Assim, pode-se comparar este raio final ajustado, que é parte da solução sem nenhum desbalanceamento de massas.

Tabela 1. Informações sobre raio e massa de 10 objetos. Fonte: (XIAO et al., 2006).

	Raio	Massa		Raio	Massa
1	20	35	6	21	80
2	22	61	7	11	93
3	17	49	8	5	82
4	17	89	9	23	70
5	7	68	10	8	20

Tabela 2. Resultados comparativos entre algumas implementações da Literatura e IWO para 10 objetos. Fonte: (XIAO et al., 2006).

LITERATURA	ALGORITMO	< Raio (+dR)	Média: Raio (+dR)	Média: Inst.
Zhou et al.(2005)	PSO	61,32	64,08 (+3,1x 10 ⁻⁷)	0,0002
XIAO et al.(2006)	Compaction + SA	60,96	62,01	0,0000
XIAO et al.(2006)	Compaction + PSO	59,93	61,41	0,0000
	IWO	60,21 (+1,2x10⁻⁵)	61,14 (+1,3x 10⁻⁴)	0,0857

A Tabela 4 apresenta o resultado gerado pela alocação de 15 objetos (Tabela 3). Para execução deste experimento utilizou-se dos seguintes parâmetros iniciais: $P_{initial}=40$, $P_{max}=200$, $iter_{Max}=300$, $D_{problem}=80$, $S_{max}=40$, $S_{min}=3$, $n=3$, $\sigma_{final}=0,0001$ e $\sigma_{inicial}=20$. IWO obteve um raio mínimo de 67,62, um resultado muito semelhante à melhor solução sugerido por XIAO et al. (2006) ('Compaction+PSO' = 67,65). Quanto à média a cada 10 execuções, IWO também apresentou resultados melhores que os valores sugeridos pela literatura.

Tabela 3. Informações sobre raio e massa de 15 objetos. Fonte: (XIAO et al., 2006).

	Raio	Massa	Raio	Massa
1	8	75	9	76
2	14	29	10	85
3	8	36	11	59
4	15	58	12	13
5	11	75	13	20
6	17	32	14	10
7	21	98	15	15
8	16	52		

Tabela 4. Resultados comparativos entre algumas implementações da Literatura e IWO para 15 objetos. Fonte: (XIAO et al., 2006).

LITERATURA	ALGORITMO	< Raio (+dR)	Média: Raio (+dR)	Média: Inst.
Zhou et al.(2005)	PSO	76,58	78,52 (+2,4x 10 ⁻⁷)	0,0002
XIAO et al.(2006)	Compaction + SA	68,77	69,45	0,0000
XIAO et al.(2006)	Compaction + PSO	67,65	68,94	0,0000
	IWO	67,62 (+2,8x10⁻⁵)	68,57 (+1,6x10⁻⁶)	0,0014

A Tabela 6 apresenta o resultado gerado pela alocação de 40 objetos (Tabela 5). Para execução deste experimento utilizou-se dos seguintes parâmetros iniciais: $P_{initial}=40$, $P_{max}=200$, $iter_{Max}=300$, $D_{problem}=80$, $S_{max}=40$, $S_{min}=3$, $n=3$, $\sigma_{final}=0,0001$ e $\sigma_{inicial}=20$. IWO obteve significativamente uma solução melhor que os outros valores encontrados para raio mínimo na literatura. IWO encontrou um raio mínimo de 740,18 com instabilidade na ordem de 0,0014, enquanto a melhor solução sugerida por LEI et al. (2009) foi de 769,81 com instabilidade de massa 0,0003.

Tabela 5. Informações sobre raio e massa de 40 objetos. Fonte: (LEI et al., 2009).

	Raio	Massa	Raio	Massa	Raio	Massa	Raio	Massa
1	106	11	11	89	7	21	108	11
2	112	12	12	92	8	22	86	7
3	98	9	13	109	11	23	93	8
4	105	11	14	104	10	24	100	10
5	93	8	15	115	13	25	102	10
6	103	10	16	110	12	26	106	11
7	82	6	17	114	12	27	111	12
8	93	8	18	89	7	28	107	11
9	117	13	19	82	6	29	109	11
10	81	6	20	120	14	30	91	8
						31	111	12
						32	91	8
						33	101	10
						34	91	8
						35	108	11
						36	114	12
						37	118	13
						38	85	7
						39	87	7
						40	98	9

Tabela 6. Resultados comparativos entre algumas implementações da Literatura e IWO para 40 objetos. Fonte: (LEI et al., 2009).

LITERATURA	ALGORITMO	< Raio (+dR)	Inst.
TENG <i>et al.</i> (1994)		870,331 (+1,5x10 ⁻⁵)	0,006
FEI e HONGFEI (1999)	GA	874,83 (+2,9x10 ⁻²)	11,39
NING <i>et al.</i> (2004)	PSO	843,94 (+7,7x10 ⁻⁶)	0,003
LEI <i>et al.</i> (2009)	PSO	769,81 (+7,7x10⁻⁷)	0,0003
	IWO	740,18 (+3,7x10⁻⁵)	0,0014

A Figura 4 apresenta o *layout* das melhores soluções encontradas na literatura para o problema de alocação dos 40 objetos da Tabela 5. Já na Figura 5 pode ser visualizada a melhor solução encontrada por IWO neste trabalho, que demonstra ser a melhor solução até então da literatura.

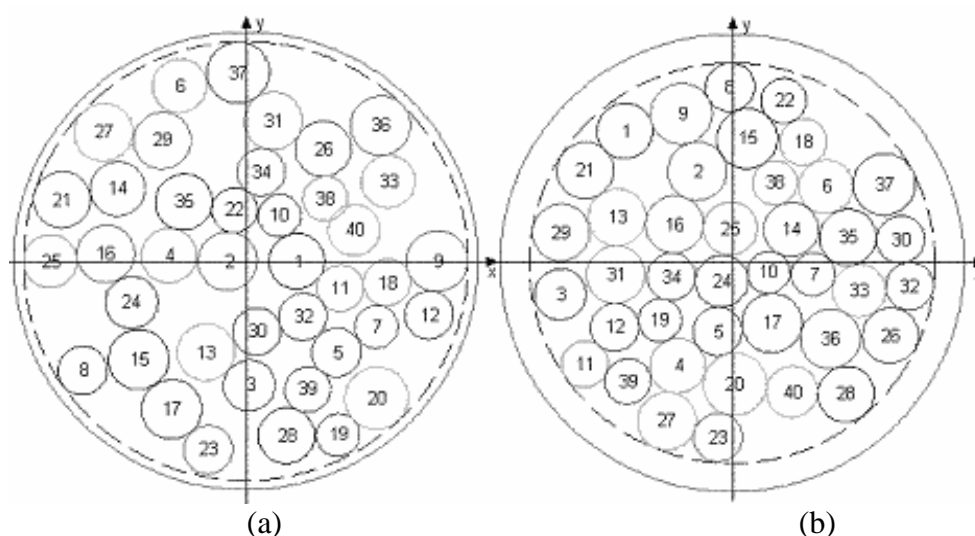


Figura 4. Melhores soluções encontradas na literatura para alocação de 40 objetos (Tabela 7). NING et al. (2004): 843,94 de raio mínimo. (b) LEI et al. (2009): 769,819 de raio mínimo. Fonte: (LEI et al., 2009).

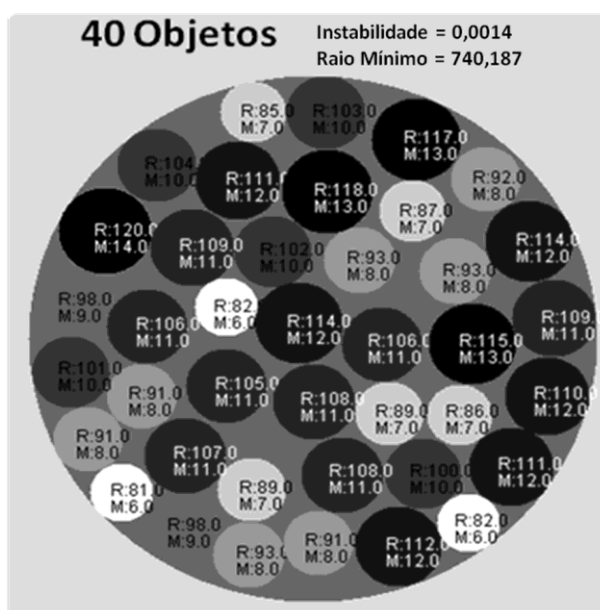


Figura 5. Melhor solução encontrada para alocação de 40 objetos (Tabela 7).

O processo de ajuste aplicado à melhor solução encontrada pelo algoritmo de ervas daninhas para o problema de alocação de círculos neutraliza o desbalanceamento em detrimento de um pequeno aumento no raio do recipiente. Entretanto, mesmo com esse aumento no raio, as soluções alcançadas por este trabalho foram as melhores dentre a literatura pesquisada. Ressalta-se que a contribuição deste trabalho, de aplicar um pós-processamento para ajuste do centro de massa do conjunto de elementos circulares, torna qualquer solução estável em termos de equilíbrio de massas, permitindo que a análise comparativa entre os algoritmos possa a partir de então ser tratada apenas como minimização de raios.

5. Conclusão e Considerações Finais

O algoritmo de otimização por infestação de ervas daninhas mostrou-se muito bom em relação à instabilidade de massa e superior a vários métodos encontrados na literatura, em relação ao raio mínimo. Com o reajuste proposto neste trabalho, a instabilidade é eliminada para qualquer solução. Nos problemas estudados, verificou-se que o acréscimo no raio de cada solução ajustada do IWO sofreu uma variação insignificante, permitindo a este algoritmo um desempenho ainda superior a seus concorrentes.

Com o aumento da quantidade de objetos a serem alocados em um recipiente circular, pode-se perceber que é fundamental aumentar o número de população máxima e número de iterações. Tendo em vista a demanda de memórias durante a realização dos testes, têm-se como trabalho futuro a aplicação das técnicas de *MultiThread* que permite executar múltiplos processos ao mesmo tempo de forma independente em computadores *multi-core*. Assim sendo, a utilização de computadores mais rápidos e com maior quantidade de memória junto com a aplicação de processamento permitirá o aumento da quantidade máxima de população e do número de iterações em relação aos valores utilizados neste trabalho. Isso deverá melhorar os resultados encontrados com menor tempo de processamento.

A utilização das técnicas de orientação a objetos gerou a possibilidade da construção de uma plataforma de *software* na utilização de problemas de otimização. Assim, qualquer problema dessa espécie pode ser facilmente implementado na plataforma de otimização por infestação de ervas daninhas.

Uma avaliação importante para um próximo trabalho é realizar uma análise estatística dos parâmetros iniciais obrigatórios a fim de compreender as suas variações e melhores ajustes para cada problema.

A disposição da carga nos satélites do Programa Espacial Brasileiro é feita de maneira *ad hoc*, dependendo principalmente da experiência técnica da equipe responsável por este segmento. Uma ferramenta que auxilie nessa tarefa de maneira automática ou semi-automática é, portanto, de grande aplicação prática. Nesta direção, pretende-se no futuro aumentar a gama de formas geométricas suportadas para representar os objetos da carga e do próprio satélite, além de considerar três dimensões, com a existência de prateleiras. Também deverão ser consideradas restrições mais sofisticadas, como a necessidade de alguns objetos deverem estar próximos ou distantes entre si, devido a fatores como calor irradiado, minimização de cabos, etc.

Agradecimentos: ao Professor Dr. Horário Hideki Yanasse e aos órgãos financiadores CAPES e CNPq.

6. Referências

- Akeb, H.; Li Y. (2005) Basic heuristics for packing a great number of equal circles. Working paper No 7, LaRIA, Université de Picardie Jules Verne, Amiens.
- Becceneri, J. C. (Org.) and Silva Neto, J. A. (Org.) (2009) Técnicas de Inteligência Computacional Inspiradas na Natureza - Aplicação em Problemas Inversos em Transferência Radiativa. São Carlos: SBMAC, v. 41, p.122.
- Fei, T. and Hongfei, T. (1999) A modified genetic algorithm and its application to layout optimization. In: Journal of Software 10(10), p. 1096–1102.
- Hajimirsadeghi, H. and Lucas, C. (2009) A hybrid IWO/PSO algorithm for fast and global optimization. In: EUROCON 2009, EUROCON'09. IEEE, p. 1964–1971.
- Huang, W. Q., Li Y. ; Li, C. M. and Xu, R. C. (2006) New heuristics for packing unequal circles into circular container. In: Journal Computers and Operations Research. v. 33, Issue 8, p. 2125–2142, August.
- Lei, K. (2009) Constrained Layout Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimizer. Faculty of Computer & Information Science, Southwest University, Chongqing, China. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 5821, p. 434–442.
- Mehabian, A. and Lucas, C. (2006) A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. In: Ecological Informatics, v. 1, n. 4, p. 355–366.
- Ning, L., Fei, L. and Debao, S. (2004) A study on the particle swarm optimization with mutation operator constrained layout optimization. In: Chinese Journal of Computers, 27(7), p. 8897–9039.
- Rad, H. and Lucas, C. (2008) A recommender system based on invasive weed optimization algorithm. In: Evolutionary Computation. CEC 2007. IEEE Congress on, IEEE, p. 4297–4304.
- Tellez, F. R. (2010) Otimização multiobjetivo por infestação de ervas daninhas em um grid cooperativo. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.
- Teng, H. F., Shoulin, S. and Wenhai, G. (1994) Layout optimization for the dishes installed on rotating table. In: Science in China (Series A) 37(10), p. 1272–1280.
- Xiao, R.B., Xu YC and Amos M. (2006) Two hybrid compaction algorithms for the layout optimization problem, School of Management & CAD Center, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China. In: Biosystems, 90(2), p. 560-7, December.
- Zhou, C., Gao, L. and Gao, H. (2005) Particle swarm optimization based algorithm for constrained layout optimization. Contr. Decis. 20(1), p. 36-40.