

O Problema *Bin Packing* Tridimensional em Contêineres: Usando Interação com o Usuário

Carlos Heitor Pereira Liberalino

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - Depto de Informática
59600-900, Mossoró, RN
E-mail: heitorliberalino@uern.br

Dario José Aloise

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia de Produção
59072-970, Natal, RN
E-mail: dario.aloise@pesquisador.cnpq.br

Hugo Alexandre Dantas do Nascimento

Universidade Federal de Goiás - Instituto de Informática
74001-970 Goiânia, GO
E-mail: hadn@inf.ufg.br

José Alfredo Ferreira Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia de Elétrica
59072-970, Natal, RN
E-mail: alfredo@dee.ufrn.br

Resumo: *Os Problemas de Corte e Empacotamento (Cut & Packing) consistem em achar uma disposição ótima de unidades menores (itens ou bins) dentro de unidades maiores (objetos), satisfazendo um conjunto de restrições e otimizando uma determinada função. A abordagem proposta neste trabalho tem como objetivo apresentar uma heurística híbrida para o Problema Bin Packing 3D em Contêineres, que faz uso de uma heurística conhecida como “Heurística de Suavização de Superfícies Irregulares” (HSSI) e um processo colaborativo de interação homem-máquina chamado User Hints (Dicas de Usuário). Neste processo, o usuário, com sua percepção e raciocínio lógico, pode manualmente alterar o resultado fornecido pelo computador durante o processo para obter uma melhoria para a solução. Foi desenvolvido um sistema em linguagem C++, com apoio das bibliotecas gráficas Open-GL e Qt, chamado BP3D Interativo. Os resultados obtidos constataram uma melhoria comparada com outros métodos anteriores.*

1 – Introdução

Problemas de Corte e Empacotamento (*Cut & Packing*), de modo geral, consistem em cortar unidades maiores (objetos) em unidades menores (itens), ou empacotar unidades

menores (itens) em unidades maiores (recipientes) otimizando uma determinada função. Exemplos de aplicação incluem a minimização da perda de um material (para corte) ou maximização da área aproveitada de um contêiner (para empacotamento). Estes problemas aparecem em diversos ambientes de produção, tais como indústrias de papel, móveis, vidro, metalúrgica, plástica, têxtil, etc. Os problemas que ocorrem freqüentemente estão relacionados com o desperdício de materiais, planejamento de operações logísticas como armazenagem, movimentação e transporte, minimização de espaços ociosos, entre outros. Portanto o planejamento é fundamental para minimizar os efeitos negativos, como o desperdício que onera os custos de produção.

Este problema foi abordado anteriormente por [BALTACIOGLU, 2001] e [ALOISE, GONZAGA e BITTENCOURT, 2003], utilizando métodos heurísticos e automáticos de resolução.

Este artigo apresenta uma variação semi-automática de resolução do problema, e está dividido em mais quatro seções. A seção 2 descreve de forma sucinta o problema de empacotamento tridimensional. A seção 3 apresenta a metodologia, explicando o

funcionamento da Heurística de Suavização de Superfícies Irregulares e do modelo de colaboração homem-máquina *User Hints*, além do sistema desenvolvido, o “BPD3 Interativo”. A seção 4 apresenta resultados e comparações com abordagens anteriores. A seção 5 conclui o artigo apresentando também alguns pontos que podem ser expandidos em trabalhos futuros.

2 – Problemas de Empacotamento Tridimensional

Para cada versão dimensional (uni, bi, tri e n -dimensional) dos problemas de Corte e Empacotamento, existem diversas variantes de acordo com o que se procura otimizar. As versões unidimensionais, apesar de serem aparentemente mais simples, são computacionalmente difíceis e têm sido investigadas desde o início da década de 1960 [GILMORE e GOMORY, 1961]. Vários algoritmos de aproximação têm sido desenvolvidos para este caso e também para o caso bidimensional. Já o estudo de problemas de empacotamento tri-dimensional (*Bin Packing 3D*) é mais recente, tendo sua pesquisa sido intensificada a partir dos anos 1990 [SILVA e SOMA, 2002].

Em termos de complexidade computacional, os problemas de empacotamento 3D pertencem à classe dos NP-Completo, onde sua solução poderá fornecer uma solução para todos os problemas NP, que são os problemas resolvidos por algoritmos em tempo polinomial não-determinístico [AARONSON, 2008]. Sendo assim, não existe um algoritmo que execute instruções em ordem polinomial para resolver este caso, o que requer o uso de métodos aproximativos.

Podemos ainda verificar dois casos particulares de empacotamento 3D, relacionados à limitação de uma das suas dimensões: empacotamento 3D em Contêiner ou em *Pallet*. De modo geral, considera-se contêiner uma caixa, e *pallet* uma espécie de “bandeja”, ou suporte. No caso dos *pallets*, consideramos que sua altura é ilimitada, de modo que a preocupação não será minimizar a quantidade de recipientes usados, e sim a altura de cada empacotamento. Já o problema do empacotamento 3D em contêineres consiste

em, dada uma lista fornecida de caixas $L = (b_1, \dots, b_n)$, onde $b_i = (x_i, y_i, z_i)$, e contêineres $C = (d_1, d_2, d_3)$, empacotar as caixas de L dentro de contêineres C , maximizando o aproveitamento dos contêineres (ou minimizando o seu número).

Além da subdivisão do problema em contêineres e *pallets*, podemos dividi-lo em mais duas subclasses: o Problema do Produtor (PP) e do Problema do Distribuidor (PD). No PP, dispomos de um recipiente que deve ser carregado com vários itens com o mínimo de variação com relação à sua altura, largura e comprimento. Como, por exemplo, um contêiner de volume $100 \times 120 \times 104 \text{m}^3$ que precise ser carregado com 100 caixas com $3 \times 10 \times 2 \text{m}^3$. Este problema se refere ao produtor por que se subentende que este fabrica um determinado número de itens iguais. No PD, dispomos de um recipiente que deve ser carregado com vários itens de tamanhos variados. Este problema se refere ao distribuidor por que se subentende que, quem distribui (geralmente supermercados, atacadistas, etc.), o faz com diversos tipos de produtos diferentes.

3 – Metodologia

Com o objetivo de obter ganhos no problema descrito, este artigo apresenta uma heurística híbrida para o problema do empacotamento 3D em contêineres que faz uso de uma heurística conhecida como “Heurística de Suavização de Superfícies Irregulares” (HSSI) e também de um processo colaborativo de interação homem-máquina chamado *User Hints* (Dicas de Usuário), onde o usuário, com sua percepção e raciocínio lógico, pode manualmente alterar o resultado fornecido pelo computador durante o processo para obter uma melhoria para a solução.

3.1 – Heurística de Suavização de Superfícies Irregulares (HSSI)

A HSSI, apresentada por [ALOISE, GONZAGA e BITTENCOURT, 2003], tenta resolver problemas de empacotamento simulando o comportamento da maioria das pessoas ao fazer este processo na vida real. O cotidiano revela que as pessoas, ao realizarem um empacotamento qualquer, em que vários

itens diferentes são postos a sua escolha, têm a tendência de escolher sempre as caixas cujas dimensões se aproximem o máximo possível do espaço disponível para o empacotamento. No caso de ainda existir espaço desocupado (buraco), a próxima caixa a ser escolhida é aquela que preencha tal espaço de modo que o topo de ambas as caixas formem uma superfície sem descontinuidade, ou seja, “suavizada”. Baseando-se nesta idéia, a HSSI reflete esse mesmo comportamento.

O mecanismo de funcionamento da HSSI consiste no pseudo-código a seguir:

1. Ler dados de entrada e inicializar variáveis;
2. Para cada uma das 6 (seis) orientações do contêiner faça:
 - 2.1. Para a camada mais apropriada faça
 - 2.1.1. Escolha a melhor caixa;
 - 2.1.2. Enquanto existir a subcamada e caixas para preenchê-la, escolha a melhor caixa;
 - 2.1.3. Enquanto houver espaço na camada, escolha a melhor caixa;
 - 2.1.4. Se alguma caixa não empacotada cabe no contêiner, ache uma nova camada e volte para o passo 2.1.1;
 - 2.1.5. Caso contrário, guarde parâmetro da melhor solução.

Diante de um conjunto de caixas a serem empacotadas, verifica-se as dimensões dos espaços disponíveis, as caixas que podem preencher esse espaço, considerando todas as suas orientações e suas respectivas restrições (poder ser tombada ou sobreposta), e elege-se a melhor caixa de modo a garantir uma suavização da superfície.

Esta heurística basicamente constrói um novo empacotamento em cada iteração, e não limita o número de caixas diferentes em cada camada, apenas escolhe as caixas de modo a reduzir os buracos não ocupados em cada camada.

3.2 – *User Hints* (Dicas de Usuário)

User Hints é uma abordagem interativa que tem o intuito de melhorar os processos colaborativos Homem-Computador.

Baseando-se no estudo detalhado de [NASCIMENTO, 2004], foram incorporados conceitos importantes para o desenvolvimento deste trabalho, com o objetivo de alcançar duas metas principais: refinar o problema de otimização e ajudar a convergir para soluções ótimas. Isto é alcançado via atributos combinatórios da Interação Homem-Computador, Otimização Combinatória e Visualização da Informação.

O *framework User Hints* original envolve nove elementos:

1. Um usuário que é especialista no domínio;
2. Um conjunto de (funções) objetivos;
3. Um conjunto de restrições que compõem um problema de otimização combinatória;
4. Um módulo com métodos de otimização;
5. Uma solução que está constantemente sendo melhorada (solução de trabalho);
6. Uma função que mede a qualidade da solução;
7. Um “agente de melhor solução” que salva internamente a melhor solução de trabalho computada até agora;
8. Uma ferramenta de visualização;
9. Uma visualização criada pela ferramenta de visualização que fornece um *feedback* sobre a solução de trabalho e o estado da otimização.

Um processo de otimização usando o *framework User Hints* consiste em ajustar os objetivos e ter o usuário interagindo com os elementos da estrutura de forma a produzir uma solução de boa qualidade. Mais precisamente, o processo de otimização funciona da seguinte forma:

1. Uma solução de trabalho inicial é automaticamente criada, e a ferramenta de visualização e o agente de melhor solução são inicializados. O agente salva uma cópia da solução inicial como a melhor solução;
2. O sistema então espera por uma ação do usuário para dar “dicas” ao processo de otimização. Dicas são ajustes que objetivam refinar o problema, inserindo conhecimento de domínio para reduzir o espaço de soluções a serem exploradas, para escapar de um mínimo local, ou para imediatamente produzir uma melhor solução. Tais dicas podem mudar a solução de trabalho;
3. Qualquer mudança, tanto na solução de trabalho, quanto nas restrições ou nos objetivos, automaticamente engatilham a

ferramenta de visualização e o agente de melhor solução. O agente de melhor solução, por outro lado, compara a qualidade da solução de trabalho com a qualidade da melhor solução salva, e atualiza a melhor solução se necessário;

4. A qualidade da solução é determinada pela função de qualidade, que considera objetivos e restrições do problema;

5. Além disso, qualquer que seja a melhor solução, ela é atualizada, o agente de melhor solução engatilha a ferramenta de visualização e fornece um *feedback* imediato ao usuário sobre este evento.

No fim do processo de otimização, a melhor solução é considerada a solução final para o problema. Este processo se repete até o usuário estar satisfeito com o resultado.

3.3 – User Hints para o Problema Bin Packing 3D

O sistema de interação desenvolvido para o problema de empacotamento 3D, chamado “BP3D Interativo” (*Bin Packing 3D Interativo*), foi construído sobre uma base já existente de um programa de empacotamento 3D desenvolvido por [BALTACIOGLU, 2001], incorporando as abordagens vistas anteriormente e baseando-se no problema do distribuidor. A figura 1, abaixo, mostra o *framework* do BP3D Interativo.

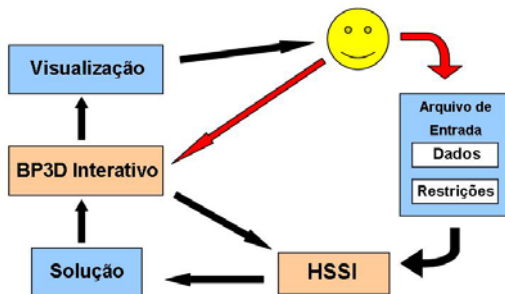


Figura 1 – *framework* BP3D Interativo.

O BP3D Interativo acrescenta à resolução do problema a possibilidade de o usuário interagir diretamente com a resposta fornecida, utilizando o seu raciocínio lógico e estabelecendo critérios para um possível melhoramento da solução obtida.

Em sua elaboração, foi utilizada a linguagem C++ juntamente com as bibliotecas gráficas

OpenGL e Qt. O sistema conta com as seguintes principais funcionalidades:

- Alteração da disposição das caixas, assim como sua remoção ou adição em um novo contêiner;
- Refinamento total ou parcial da solução dada pelo método de otimização empregado;
- Visualização em tempo real do refinamento da solução, além dos dados referentes a cada contêiner e caixa.

Estas facilidades foram implementadas neste sistema como um processo cíclico (como mostrado na figura 1) onde uma solução inicial de empacotamento é dada e o usuário pode alterá-la para atingir uma melhoria, podendo voltar a empregar o mesmo método de otimização da resposta original no seu refinamento.

Os principais tipos de interação proporcionados pelo sistema estão agrupados nas seguintes categorias:

- Aparência e visualização dos dados;
- Seleção de objetos ou áreas;
- Modificação dos objetos;
- Funções de câmera;
- Edição dos dados.

A figura 2 mostra como ficou o sistema BP3D Interativo depois de sua implementação.

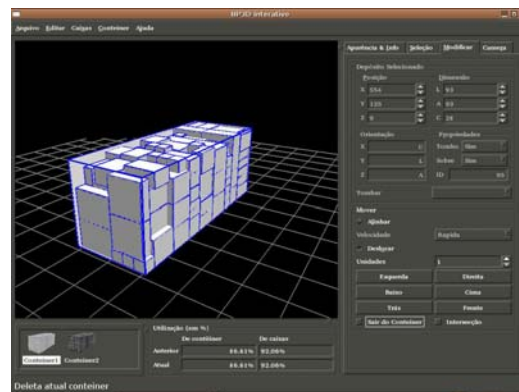


Figura 2 – o sistema BP3D Interativo

4 – Resultados

Os testes aplicados ao sistema foram extraídos de 15 (quinze) instâncias usadas por [ALOISE, GONZAGA e BITTENCOURT, 2003] para o problema do distribuidor, e mais

5 (cinco) instâncias usadas por [BALTACIOGLU, 2001] para o problema do produtor. Os testes foram feitos em um processador Intel Pentium 4, 1,4 GHz e 128 Mb de memória RAM, utilizando-se o sistema operacional Linux Ubuntu.

A avaliação foi feita com as 20 instâncias citadas divididas em duas subclasses, que são referentes às duas subclasses do problema de empacotamento 3D: o problema do produtor (PP) e o problema do distribuidor (PD). As instâncias PD, chamadas “Pac7##”, possuem dados de vários tipos de caixas. Já as do PP, chamadas “Set_##”, possuem, no máximo, dois tipos de caixa. Foi estabelecido que, para cada uma das instâncias, independente da sua classe, seria dado o tempo máximo de 10 minutos para que o usuário fizesse as modificações e tentasse melhorar os resultados.

Os resultados obtidos mostraram que existe uma diferença de dificuldade entre o problema do produtor e o do distribuidor, tendo o emprego da metodologia se mostrado mais satisfatório no segundo caso, já que a variedade de caixas é maior, fato que gerou mais espaços vazios para serem preenchidos com o uso da interação.

A tabela 1, abaixo, compara o os resultados de aproveitamento de cada contêiner, obtidos pela aplicação do algoritmo de [BALTACIOGLU, 2001], da HSSI e do BP3D Interativo com a ajuda do usuário, e estão representados, respectivamente, em percentagem, nas colunas “Balt”, “HSSI” e “BP3DI”. O valor, também em percentagem, na coluna “Ganho” utiliza a seguinte fórmula: $(BP3D \text{ Interativo}) * 100 / HSSI - 100$, o que significa que o ganho é o percentual obtido pelo BP3D Interativo sobre a HSSI. A primeira coluna refere-se à instância utilizada.

Os testes delimitados pelo tempo mostraram um ganho máximo de 2,87% para o caso do distribuidor. Já para o caso do produtor, apenas em uma instância (Set_16) houve um ganho de 0,36%. A justificativa para isto se deve ao fato de que, no problema do produtor, o número de caixas iguais é muito maior, o que proporciona um melhor cálculo de aproveitamento do espaço do contêiner no momento em que se executa o programa de

empacotamento. As figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, um empacotamento feito para o problema do produtor e do distribuidor.

| Inst. | Balt | HSSI | BP3DI | Ganho |
|--------|--------|--------|--------------|-------------|
| Pac71 | 86,13 | 87,81 | 88,01 | 0,23 |
| Pac72 | 86,10 | 86,08 | 87,89 | 2,10 |
| Pac73 | 86,89 | 87,93 | 87,93 | 0,00 |
| Pac74 | 86,72 | 89,96 | 89,96 | 0,00 |
| Pac75 | 86,61 | 88,83 | 90,12 | 1,45 |
| Pac76 | 88,36 | 88,93 | 89,16 | 0,26 |
| Pac77 | 86,73 | 88,71 | 88,99 | 0,32 |
| Pac78 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| Pac79 | 86,25 | 87,05 | 89,55 | 2,87 |
| Pac710 | 86,93 | 86,54 | 88,96 | 2,80 |
| Pac711 | 87,95 | 87,95 | 88,39 | 0,50 |
| Pac712 | 86,73 | 87,62 | 88,37 | 0,86 |
| Pac713 | 87,75 | 88,08 | 88,56 | 0,54 |
| Pac714 | 88,19 | 88,76 | 88,76 | 0,00 |
| Pac715 | 85,50 | 86,63 | 88,23 | 1,85 |
| Set_12 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| Set_13 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| Set_14 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| Set_15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 0,00 |
| Set_16 | 98,09 | 98,09 | 98,44 | 0,36 |

Tabela 1 – Resultados obtidos pelo BP3D Interativo

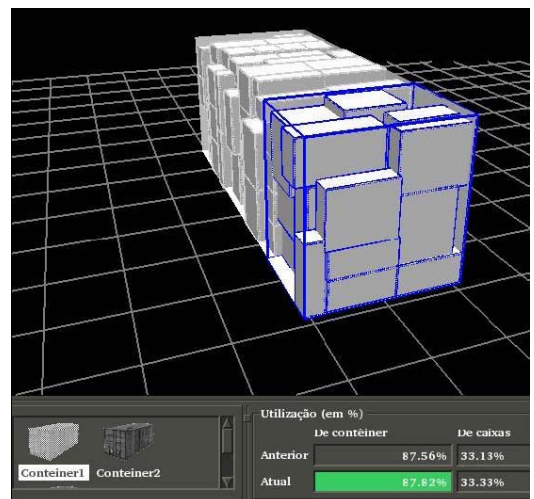


Figura 3 – empacotamento realizado no problema do distribuidor.

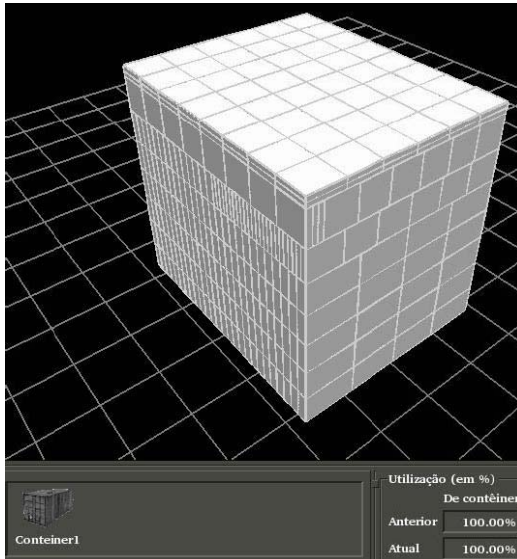


Figura 4 - empacotamento realizado no problema do produtor.

5 – Conclusões e Futuras Direções

Os resultados deste trabalho apresentaram uma nova alternativa para resolução do problema de empacotamento tridimensional. Apesar dos ganhos obtidos terem sido pequenos, a abordagem mostrou que o senso crítico humano, quando se depara com problemas que não dependem apenas de cálculos numéricos, pode fornecer melhores resultados quando comparado a métodos totalmente automáticos.

A ferramenta de otimização interativa BP3D Interativo mostrou-se satisfatória, pois foi capaz de mostrar a consistência de um processo de Otimização combinatória, unindo-a com a flexibilidade da iteração com usuário.

O sistema ainda tem possibilidades de extensão, como:

- Adaptação a novos problemas, inclusive de natureza unidimensional ou bidimensional;
- Geração de um banco de dados de melhor solução;
- Adição de novas interações para facilitar o processo de colaboração por parte do usuário;
- Expansão da área de visualização, assim como da visualização da informação;
- Integração e aplicação de outras abordagens heurísticas e metaheurísticas para a obtenção de melhores resultados.

Referências Bibliográficas

AARONSON, S. “Os Limites do Computador Quântico”. Revista SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, Ed. 71, pags. 56-63. 2008.

ALOISE, D. J.; GONZAGA, C. S; BITTENCOURT, V. G. Uma Heurística de Suavização de Superfícies Irregulares para a solução do Problema Bin Packing 3D. Artigo apresentado no XXXV SBPO. Natal-RN, Brasil, 2003.

BALTACIOGLU, E., First Lieutenant, TAAF. “The Distributor’s Three-Dimensional Pallet-Packing Problem: A Human Intelligence-Based Heuristic Approach”. Air Force Institute of Technology. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio – EUA. Tese de Doutorado. 2001.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. E. “A linear programming approach to the cutting-stock problem”, Opera. Res., Hamps, v. 9, p. 848-859, 1961.

NASCIMENTO, H. A. D., "User Hints for Optimization Processes", School of Information Technologies, The University of Sydney. Tese de Doutorado. 2003.

SILVA, J. L. C; SOMA, N. Y. “Um Algoritmo Polinomial para o Problema de Empacotamento de Contêineres com Estabilidade Estática da Carga”. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos – SP. Artigo. 2002.

VIANNA, A. C. G., “Problemas de Corte e Empacotamento: Uma Abordagem em Grafo”. Artigo apresentado na XXXIII SBPO, São Paulo, 2001.